The Gran Turismo Magazine

NISSAN
Beyond the Apex
PlayStation.
NISSAN

STONE.CO.UK
GT ACADEMY
2008-2013

GT ACADEMY
2008-2013

그란 투리스모로 깨어나는 드라이빙의 재능

모 터 스 포 츠 의 성 지 에 서

GT ACADEMY
2008-2013

모든 능력이 시험받는다

GT ACADEMY
2008-2013

파워도 구동방식 선택도 자유자재.
타임 트라이얼 1000번도 불가능은 아니다.
드라이빙 시뮬레이터의 세계에서는
현실과 동떨어진 드라이빙 체험이 가능하다.

그 가능성을 증명하기 위해
2008년에 막을 올린 GT 아카데미.
그란 투리스모로 실력을 갈고닦은 플레이어가
진짜 레이싱 드라이버를 꿈꾸는 꿈의 프로젝트이다.

개최지역은 해를 거듭하며 확대된다.
2012년엔 유럽, 미국, 러시아,
중동, 남아프리카를 대상으로
총 140만 명이 온라인 예선에 참가했다.

레이싱 드라이버의 꿈을 포기하지 않는다.
언젠가는 우레와 같은 박수를 받으며
서킷의 포디움에 서는 환희의 순간을 누릴 수 있는 것은
지금 “그란 투리스모”에 도전하는 당신일 수도 있다.

백일하에 드러나는
승리에 대한 열망

G T   A C A D E M Y
2 0 0 8 - 2 0 1 3

GT ACADEMY
2008-2013

이곳은 스타트라인.
더 가혹한 골로 향하는

Beyond the Apex

Contents

The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex
ba

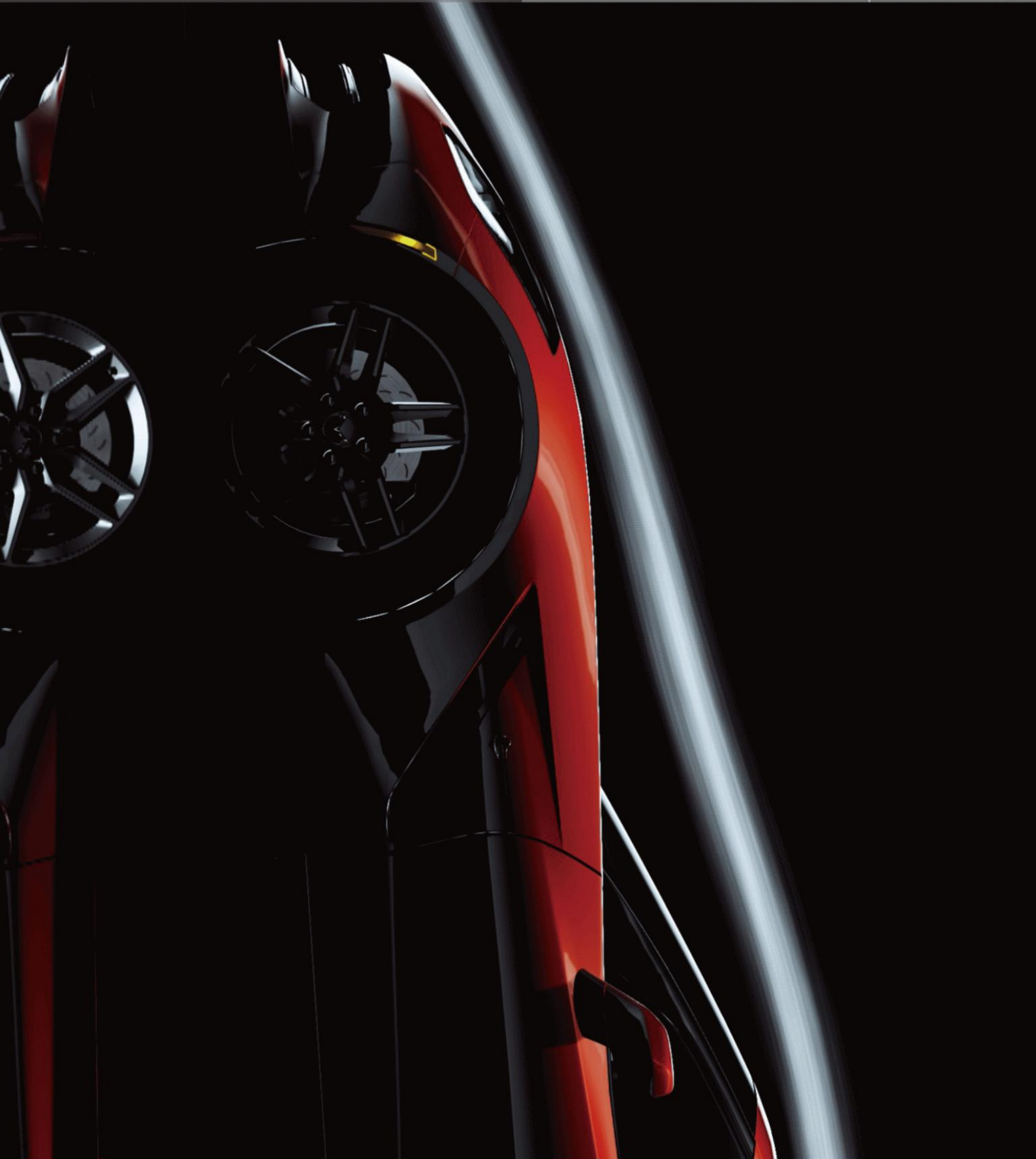
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex

Engineering for Automotive

1

The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex

Engineering

자동차를 위한

자동차 테크놀로지에 관한 책이나 잡지는 그 수도 많고, 일반인을 대상으로 한 것부터 전문가를 위한 것까지 종류도 다양하게 출간되어 있다. 그러나 한 사람이 자동차를 깊이 알고 싶더라도 전문서적부터 읽자니 난무하는 난해한 이론과 수식이 열정과 호기심을 가로막는 경우가 허다하다. 자동차 테크놀로지는 광범위한 기초지식을 토대로 성립되어 있으며 전문서적은 독자가 그 기초지식을 알고 있다는 전제를 가지고 쓰인 책이기 때문이다.

그렇다면 공학적 기초지식을 해석한 글이 있다면 많은 자동차 사용자오 전문가를 연결하는 가교가 될 수 있지 않을까. 그러한 착상에서 이 장이 탄생했다. 얼핏 보면 어떻게 자동차와 연결되는지 의심스러운 항목도 포함되어 있지만, 불안하지 않길 바란다. 그곳을 지나면 지금까지 알 수 없었던 스릴 넘치는 자동차의 모습이 보일 것이다. 지금까지 복잡하게만 보였던 현상이 사실은 매우 간단한 원리로 풀어낼 수 있다. 그 흥분을 맛볼 수 있게 된다면 이 부분은 역할을 다한 것이다.

Part 1에서는 기초적인 기계역학에 대해서 설명한다. 힘과 모먼트, 에너지의 개념을 소개하고 진동이론으로 이어진다. 힘, 모먼트, 에너지는 모든 공학의 기초이며 진동이론은 Part 2에서 설명하는 차량진동역학 및 서스펜션 튜닝의 기초가 된다.

Part 2에서는 차량진동역학과 서스펜션 튜닝에 대해 설명한다. 여기서는 전문가가 어떻게 자동차와 서스펜션의 운동을 제어하는지 말하고자 한다. 이 Part에서 갈무리하는 것은 차량의 조타시험과 7 포스트 리그로 수행하는 서스펜션 해석의 기초지식이 되므로 흥미가 있다면 부디 읽어주길 바란다.

Part 3에서는 자동차 엔진의 기초가 되는 열역학과 통계역학을 간단하게 소개한다. 여기서는 이론효율을 달성하는 엔진이란 어떤 것인지, 왜 엔진은 에너지 손실을 만들 수 밖에 없으며 이론효율을 달성하지 못하는지, 에너지 손실을 일으키는 물리현상에 공통적으로 나타나는 자연의 모습을 해설하도록 한다.

Part 4에서는 공기역학에 대해 설명한다. 압력과 속도의 관계를 나타내는 베르누이의 정리는 레이싱카의 다운포스와 비행기의 양력을 설명하는데 사용되므로 유체역학을 배운 적이 없는 사람에게도 익숙한 이론일지 모른다. 하지만 베르누이의 정리는 공기역학의 입구에 지나지 않는다. 여기서는 그 문을 지나 이어지는 이론공기역학의 큰길을 걸어보자.

Part 5에서는 수치유체역학, 즉 CFD에 대해서 설명한다. CFD는 자동차 개발에 있어서 빠질 수 없는 도구이다. 특히 레이싱카의 개발에는 가장 중요한 도구에 속하기 때문에 레이싱 팬 사이에도 CFD라는 말은 흔히 접할 수 있게 되었다. 그러나 CFD는 어떤 것인지, 어떠한 이론을 바탕으로 성립되어 있는지를 아는 사람은 아직 그렇게 많지 않다. 그러한 이유로는 여기서는 CFD의 개념을 간략하게 소개하도록 하겠다.

물론 이 좁은 지면에 자동차공학의 기초지식을 모두 담을 수는 없는 노릇이다. 그러함에도 이 장이 자동차의 새로운 매력으로 이끄는 입구가 되길 바란다. 모두 읽기에 벅차다면 흥미가 있는 부분만을 골라 읽어주길 바란다. 이 장을 통해 의외의 발견을 했다면 이제 당신은 자동차를 둘러싼 심오한 엔지니어링의 세계에 발을 들인 것일지도 모른다.

문
공학

for Automotive

힘, 에너지, 진동

힘과 모먼트의 개념

▶ 두 개념의 정의와 차이를 알아보자

달리는 자동차에는 다양한 힘이 작용하고 있다. 자동차에 작용하는 힘과 모먼트를 이해하는 것이 자동차를 이해하는 첫걸음이 된다. 여기에서는 우선 힘과 모먼트의 개념을 설명하고자 한다.

힘의 정의

타이어, 서스펜션, 엔진…… 자동차가 주행할 때 이들 요소에서는 다양한 힘이 생겨난다. 그들의 힘은 모두 다른 현상에 의해 발생하며 직감적으로는 각기 다른 종류의 힘인 것처럼 보일지 모른다. 하지만 물리학에서 이들 힘은 모두 F=ma(힘=질량×가속도)라는, 운동방정식이라 불리는 심플한 수식으로 표현할 수 있으며 본질적으로는 차이가 없다.

운동방정식: F=ma는 〈힘 또는 질량을 가속 또는 감속시키는 작용〉을 의미한다. 즉 힘이란 물체의 속도와 운동의 방향을 변화시키는 작용이다. 반대로 만약 물체가 가속 혹은 감속하고 있다면 거기에는 반드시 힘이 작용한다는 말이 된다.

예를 들어 타이어와 노면 사이에 생기는 마찰력은 자동차라는 질량을 가진 물체의 운동방향과 속도를 바꾸고, 댐퍼의 감쇠력은 차체 및 타이어의 진동의 속도를 줄이는 효과가 있다.

그림 1-1-1 자동차에 작용하는 다양한 힘의 형식은 다르지만 물리적으로는 본질적인 차이가 없다

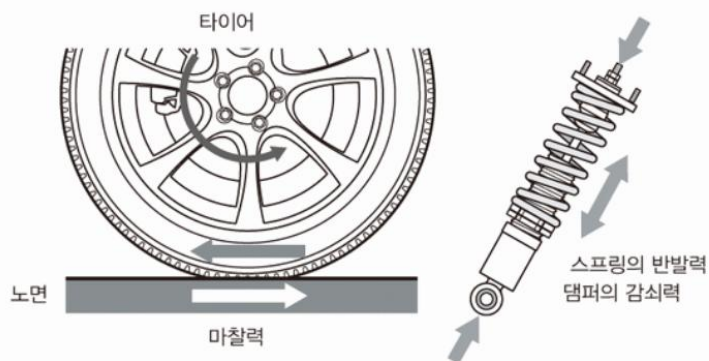
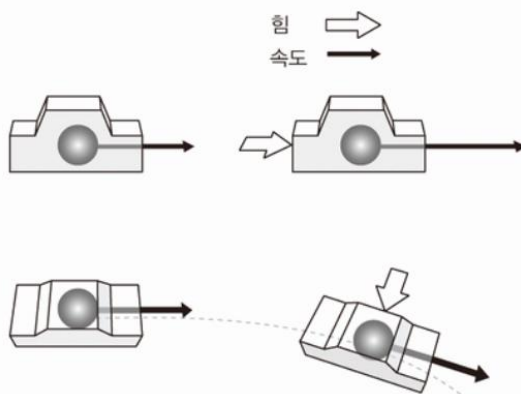



그림 1-1-2 힘은 운동의 속도나 방향을 변화시키는 작용

힘을 가하면 물체의 속도와 방향이 변화한다

자동차에 생겨나는 힘은 모두 이 식으로 표시된다.

F=ma (힘=질량×가속도)

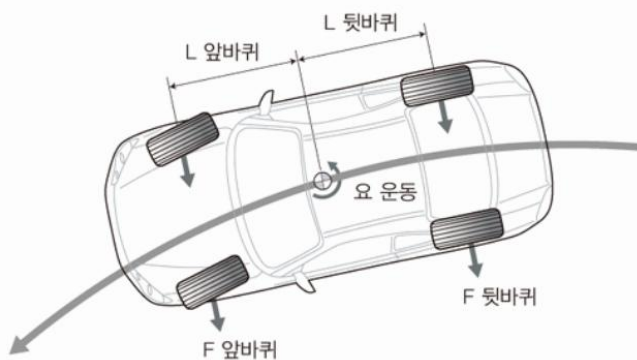
힘이란 질량을 가속 또는 감속시키는 작용.

모먼트의 정의

주행 중 스티어링휠을 꺾으면 타이어가 진행 방향에 대해 수직방향으로 힘을 발생시키기 때문에 차체의 방향이 바뀐다. 타이어가 만드는 힘에 따라 차체에 회전운동이 발생하며 이 회전을 요(yaw)라고 부른다. 이처럼 무게가 있는 물체에 회전운동을 발생시키는 작용을 모먼트라고 부른다. 모먼트는 회전축으로부터의 거리에 비례해 힘에 더해지는 양으로, 수학적으로 표현하자면 M=L×F(모먼트=회전축으로부터의 거리×힘)이다.

실제로 자동차가 선회하는 중에 작용하는 모먼트를 생각해 보자. 차의 중심위치를 코너링 회전 축이라고 하면 앞바퀴가 만들어내는 모먼트의 크기는 〈중심에서 앞바퀴까지의 거리×앞바퀴가 발생시키는 횡방향의 힘〉이 된다. 선회중에는 물론 뒷바퀴에서도 〈중심에서 뒷바퀴까지 거리×뒷바퀴가 만들어내는 횡방향의 힘〉만큼의 모먼트가 발생해 앞바퀴에 의한 모먼트와는 반대방향으로 차를 회전시키려고 한다.

코너링에서 생각하면 스티어링을 꺾는 것은 앞바퀴의 모먼트를 증가시키켜 선회가 시작된다. 클리핑 포인트 부근에서 앞뒤바퀴의 모먼트는 같아진다. 포인트를 지나 스티어링을 되돌리면 뒷바퀴 모먼트가 커지면 선회를 마치게 된다.

그림 1-1-3 앞뒤 바퀴에 의한 모먼트와 차의 회전운동의 관계. 앞바퀴의 모먼트가 뒷바퀴의 모먼트보다 크면 자동차는 코너링 할 수 있다.

L 앞바퀴×F 앞바퀴 ＞ L 뒷바퀴×F 뒷바퀴 → 차의 요각이 커진다(턴인)
L 앞바퀴×F 앞바퀴 ＜ L 뒷바퀴×F 뒷바퀴 → 차의 요각이 작아진다(턴아웃)

질량이 있는 물체에 회전운동을 발생시키는 힘을 모먼트라고 부른다
M=L×F (모먼트=회전축까지의 거리×힘)

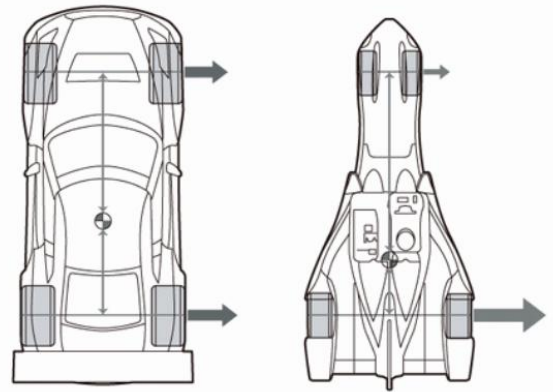



그림 1-1-4

TIPS 그림 1-1-4는 Nissan GT-R NISMO GT3 (왼쪽)와 DeltaWing(오른족)의 앞뒤바퀴에 발생하는 표현한 것이다. 여기에서는 차량의 회전축은 무게중심으로 설정하는 것으로 한다. 회전축(무게중심)에서 앞뒤바퀴까지의 거리가 다르기 때문에 앞뒤바퀴가 만드는 모먼트의 균형을 잡기 위해서는 앞뒤바퀴가 발생시키는 힘의 크기가 다른 것을 알 수 있다. 그렇기 때문에 무게중심이 극단적으로 뒤쪽으로 치우친 DeltaWing의 경우, 앞뒤 타이어에 필요한 그립력이 완전히 달라진다. 실제 DeltaWing의 프론트에는 폭이 10cm에 불과한 특수한 타이어가 쓰인다. 이해 비해 GT-R NISMO GT3의 무게중심은 차체 중심에 가까이 있기 때문에 전후 타이어는 거의 동등한 힘을 발생시킬 필요가 있다.

에너지의 개념

▶ 에너지 보존의 법칙을 이해하자

에너지 보존의 법칙

자동차에서 일어나는 물리현상을 세밀하게 분류하면 역학적 현상, 열적 현상, 전기적 현상, 자기적 현상, 화학적 현상 등으로 세분화할 수 있다. 예를 들어 가솔린 엔진 실린더 속에서는 휘발유가 발화해 폭발하고, 실린더 내부 온도가 상승하면서 피스톤을 밀어낸다. 이 때 실린더 안에는 화학적 현상과 열적 현상, 역학적 현상이 동시에 일어나게 된다. 이것은 모두 다른 종류의 물리현상이지만 이러한 현상 사이에는 힘과는 다른 어떤 공통된 효과가 있다. 그것이 바로 에너지이다. 에너지는 다른 물리현상 사이에서도 서로 변환이 가능하며 그 총량은 변환 전과 후에 변함없이 일정하다. 이를 에너지 보존의 법칙이라고 한다.

그림 1-2-1 에너지의 개념

자동차 속에서 일어나는 물리현상

- 역학적 현상
- 열적 현상
- 전기적 현상
- 자기적 현상
- 화학적 현상

→ 에너지라는 공통된 물리적 효과가 있다

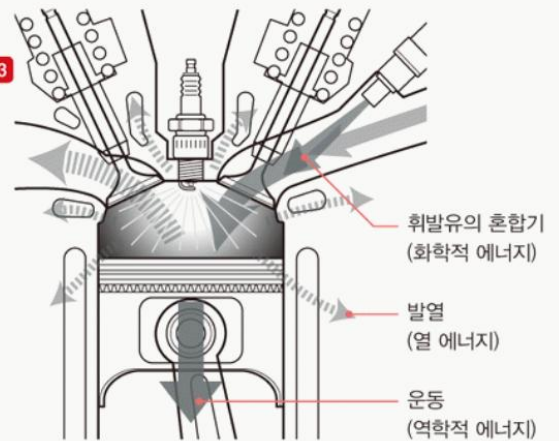
브레이킹은 역학적 에너지를 역적 에너지로 바꾸는 행위이다.

엔진 실린더 내부의 보존법칙

가솔린 엔진의 실린더 안에서 일어나는 물리현상을 에너지 측면에서 고찰하면 휘발유의 화학적 에너지가 열에너지와 역학적 에너지로 변환된다고 할 수 있다. 즉 가솔린 엔진은 화학적 에너지로부터 인간에게 유익한 형태의 역학적 에너지를 만들어내는 장치다. 그리고 이 때 변환된 화학적 에너지의 양은 새로 만들어진 열 에너지의 양과 역학적 에너지의 양을 합한 것과 동일하다는 것이 에너지 보존 법칙에 의해 보장되어 있다. 엔진이 화학적 에너지를 인간에게 유익한 역학적 에너지로 변환하는 비율이 그 엔진의 효율이 된다.

그림 1-2-2 엔진 실린더 내부의 에너지 보존의 법칙

에너지를 변환해도 그 총량은 변하지 않는다.
이 법칙을 에너지 보존의 법칙이라고 한다

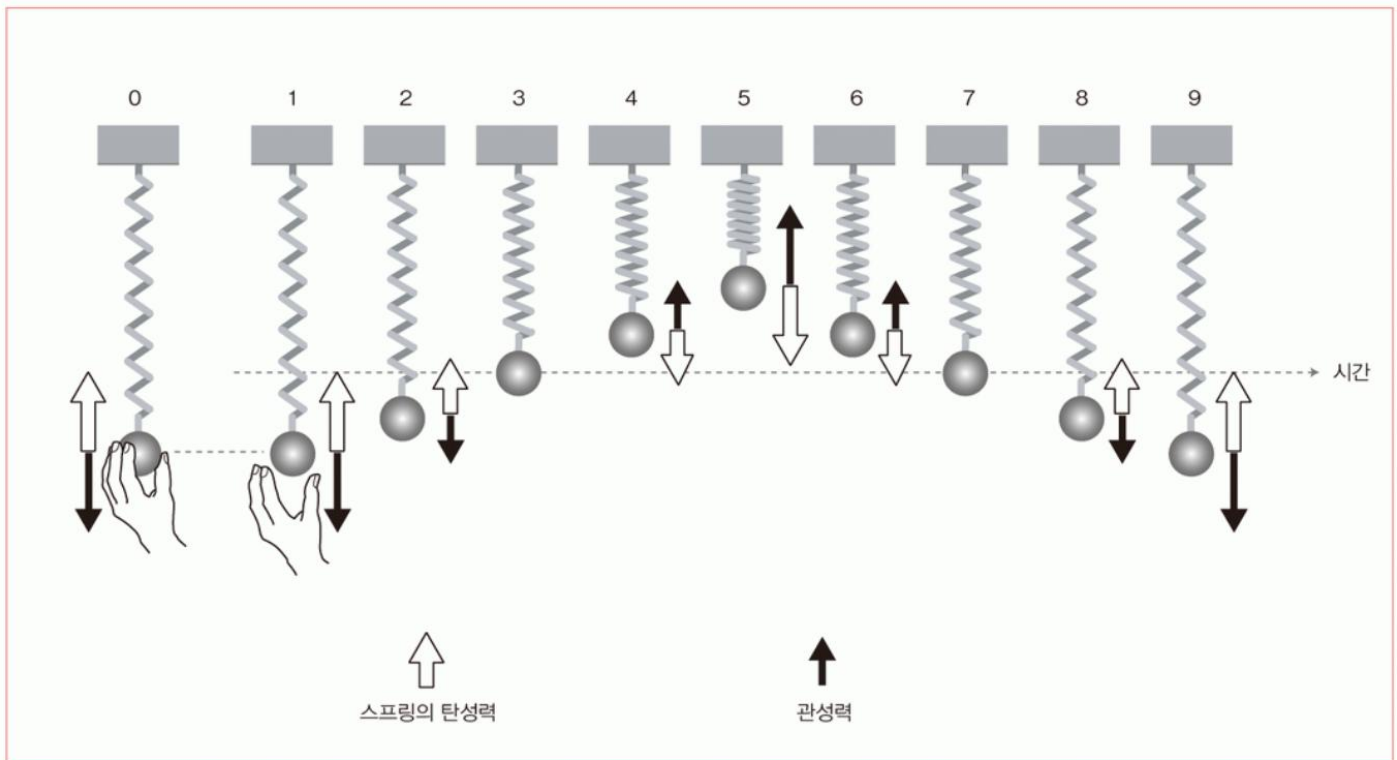
그림 1-2-3

진동 메커니즘

▶ 진동현상의 원인은 물체의 질량과 탄성이다

자동차는 엔진과 서스펜션 등에는 진동이 따른다. Part 2에서 자세히 설명하겠지만 차량의 운동 자체도 진동현상으로 설명할 수 있다. 그러면 진동이란 무엇일까. 진동의 메커니즘은 어떻게 되어있을까. 자동차의 운동을 깊이 논의하기 전에 우선 이것을 이해하자.

힘의 측면에서 본 진동

우선 이야기를 간단히 하기 위해 수직으로 서 있는 추와 스프링(이 추와 스프링처럼 하나의 진동을 일으키는 대상을 진동계라고 부른다)을 사용한다(그림 1-3-1). 손으로 추를 끌어당겨 스프링을 늘리면 당기는 힘에 맞서 탄성력이 작용한다(0). 여기서 손을 놓으면 스프링은 자신의 탄성력에 의해 추를 끌어당겨 원래의 길이로 돌아가려고 한다(1~2). 그러나 스프링이 원래의 길이로 돌아와 탄성력이 0이 되었다고 해도 추는 관성에 의해 계속 움직이려 하기 때문에 스프링을 압축한다(3). 줄어든 스프링은 다시 탄성력을 발휘하고 압축에 저항해 원래의 길이로 돌아가려 한다(4). 그 결과 추를 감속시키기 때문에 곧 추의 움직임을 멈춘다(5). 그러나 줄어들었던 스프링은 탄성력을 발휘해 원래의 길이로 돌아가려 한다(6). 그리고 다시 원래의 길이로 돌아가지만 추의 관성 때문에 꿈틀댄다(7). 그 결과 스프링을 끌어당겨 1~9의 과정을 다시 되풀이하게 된다. 이것이 힘의 측면에서 본 진동이다. 즉 진동현상은 물체의 관성과 탄성력이 원인이 되어 발생한다.

그림 1-3-1 힘의 측면에서 진동을 보면 스프링의 탄성력과 추의 관성력은 항상 균형을 이룬다
각 과정의 스프링에 위아래 방향의 화살표의 길이가 같은 것에 주목하자

에너지 측면에서 본 진동

진동에는 앞서 배운 에너지도 관여한다. 에너지 측면에서 진동은 신축에 의한 추의 운동에너지와 스프링이 가진 탄성 에너지의 교환이라고 할 수 있다. 스프링의 탄성 에너지는 스프링의 변위가 가장 큰(늘어나거나 압축된 상태) ①, ⑤, ⑨ 때 최대가 되며, 추의 운동 에너지는 속도가 가장 높아지는 ③, ⑦ 때 최대가 된다.

그림 1-3-2 에너지 측면에서 본다면 진동이란 스프링의 탄성 에너지와 추의 운동 에너지의 교환이다.

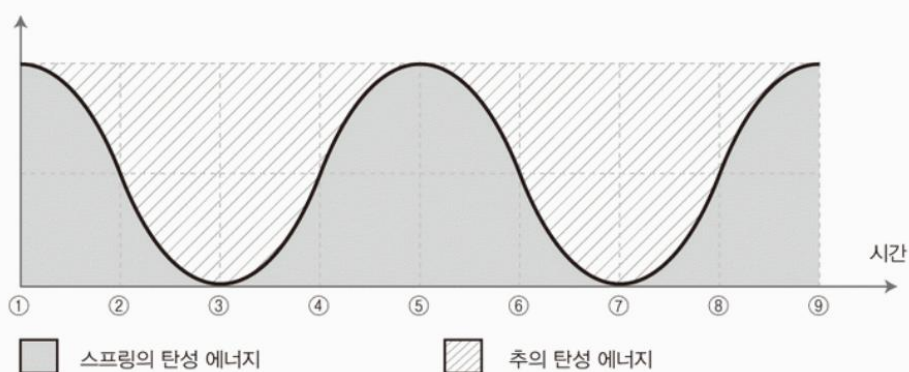
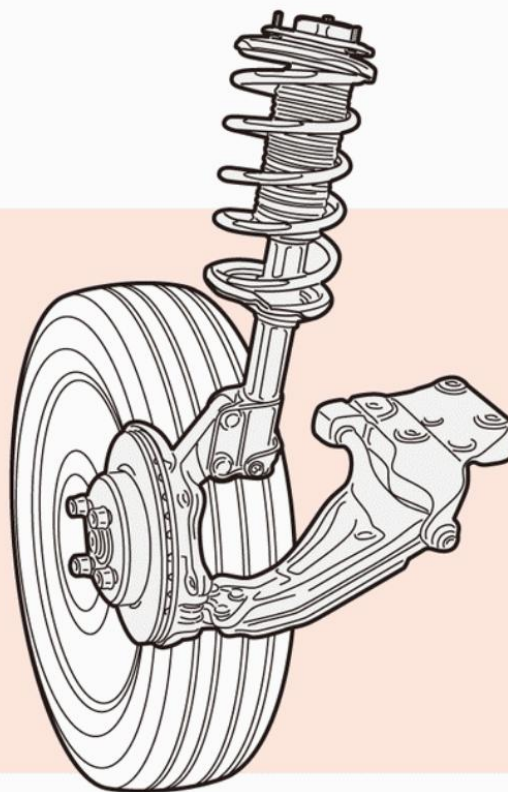
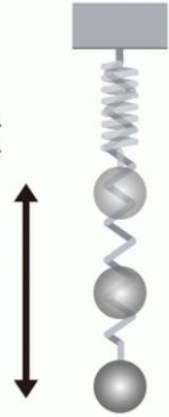



그림 1-3-3 차체에 관계된 진동에서 가장 알기 쉬운 것은 서스펜션에 전달되는 노면 입력이다

공진현상

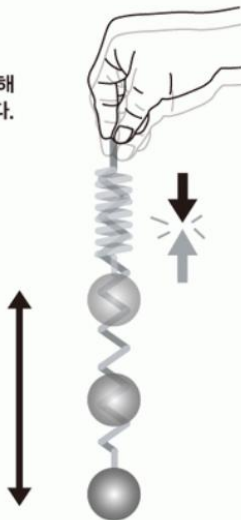
▶ 공진은 외부에서 가해진 진동에 대해 무저항이 되는 상태

서스펜션과 엔진의 진동을 생각할 때 특히 주의할 점이 공진현상이다. 공진은 최대한 피해야만 하며, 부득이하게 일어났더라도 그 영향을 최소한으로 줄여야 한다. 이를 위해서는 먼저 공진이 무엇인지 이해해 보자.

그림 1-4-1 자유롭게 진동시키면 고유진동수로 진동하고, 그 외의 진동수로는 진동하지 않는다

자유진동과 고유진동수

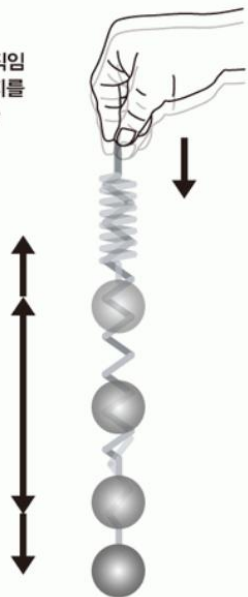
여기서도 한 조의 추와 스프링으로 이루어진 진동계를 생각해 보자. 이 진동계를 한번 잡아당긴 뒤 방치해 자유롭게 진동시킨다. 이것을 자유진동이라고 한다. 이윽고 추와 스프링은 어느 일정한 진동수로 진동하게 된다. 처음에 어떻게 잡아당겨도 결과는 마찬가지. 최종적으로는 일정한 진동수로 진동한다. 이 주파수는 스프링의 탄성과 추의 질량만으로 정해지는 진동계 고유의 진동수이므로 고유진동수라고 부른다. 고유진동수는 진동계 스스로가 자발적으로 진동하는 진동수이며 이 진동수로 진동할 때 스프링의 탄성력과 추의 관성력은 균형을 이루어 에너지교환도 자연스럽게 반복된다

그림 1-4-2

고유진동수 외의 진동수로 스프링을 신축시키려 해도 진동계는 자신의 고유진동수로 신축하려 한다. 그 움직임이 손에는 저항으로 전해진다

강제진동과 공진

위에서 사용한 스프링과 추를 손으로 강제로 신축시켜 보자. 이것을 강제진동이라고 한다. 고유진동수와 다른 주파수로 신축시키면 손에 저항이 느껴질 것이다. 진동계가 진동하는데 고유진동수가 자연스러운 진동수라고 생각한다면 그 이외의 진동수는 부자연스러운 것이 된다. 외부로부터 가해지는 진동이 어떠하든 진동계는 어디까지나 스스로에게 자연스러운 진동수로 진동하려 하기 때문에 저항을 느끼는 것이다.

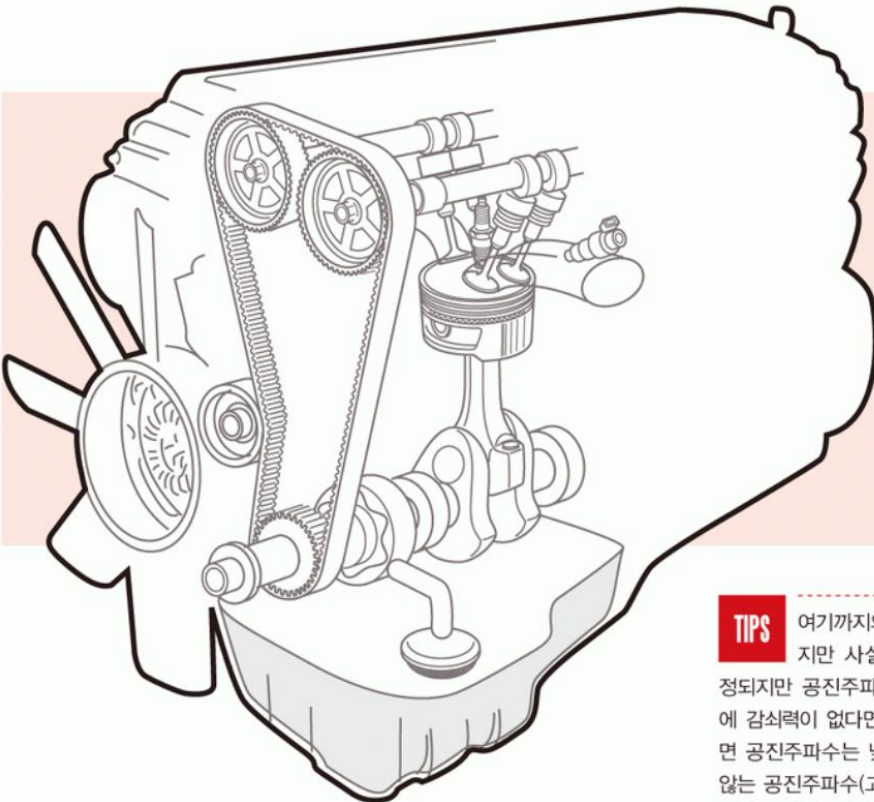
그림 1-4-3

고유진동수로 진동을 더하면 그 진동계의 움직임에 거스르지 않는다. 오히려 손의 운동 에너지를 흡수하고 진폭은 더욱 커진다. 이것이 공진이다

강제진동과 공진

이번에는 이 진동계의 고유진동수로 신축시키면 어떻게 될까. 이 때의 진동은 그 진동계에 있어 자연스러운 진동수이기 때문에 저항이 느껴지지 않는다. 오히려 진폭이 점점 더 커질 것이다. 이것은 진동계가 외부에서 가해진 진동에 대해서 저항하지 않고 오히려 그 에너지를 모두 흡수해 버리기 때문이다. 만약 이대로 고유진동수로 진동을 더한다면 그 진폭은 계속 커지게 된다.

이렇게 진동계 자신이 자발적으로 진동하는 진동수에 맞추어 외부로부터 강제 진동이 더해진 경우 그 진동의 진폭이 점점 커지는 현상을 〈공진〉이라고 부르며, 이 때의 주파수를 〈공진주파수〉라고 한다.

서스펜션에서 공진이 일어나면 접지력이나 승차감 악화를 야기한다. 또한 엔진에 공진이 생기면 엔진 자체를 부숴버릴 수도 있다. 그렇기 때문에 공진은 피해야만 한다. 공진에 의한 파손을 막는 방법 중 하나가 댐퍼의 장착이다. 댐퍼는 추와 스프링에서 진동 에너지를 흡수하고 열에너지로 변환해 외부로 방출한다. 설령 공명이 일어났다고 해도 감쇠력이 충분히 작용하면 기계의 손상을 막을 수 있다.

그림 1-4-4 엔진도 연속된 연소가 진동을 일으키는 하나의 진동계이다. 엔진이 공진하면 헤드 주변이나 블록을 파손시키는 심각한 데미지를 입는다

TIPS 여기까지의 설명에서 고유진동수와 공진주파수는 동일한 것처럼 보이지만 사실은 다르다. 고유진동수는 질량과 스프링의 탄성에 의해 결정되지만 공진주파수는 고유진동수에 감쇠력의 효과를 더해 결정된다. 진동계에 감쇠력이 없다면 고유진동수와 공진주파수가 일치하지만 감쇠력이 존재한다면 공진주파수는 낮아져 고유진동수와 일치하지 않는다. 다만 감쇠력을 따르지 않는 공진주파수(고유진동수)를 비감쇠 고유주파수, 감쇠에 따른 공진 주파수를 감쇠 고유진동수라고 부르기도 한다.

감쇠력의 작용

▶ 감쇠력으로 인해 진동의 양상이 변화한다

지금까지는 추와 스프링으로 이루어진 진동계를 예로 들어 진동을 관찰했다. 또한 만약 추와 스프링으로 이루어진 진동계가 고유진동수(공진주파수)에서 강제적으로 진동될 경우, 공진이 문제가 된다고 알았다. 공진현상으로 인한 문제를 회피하기 위한 방법은 여러 가지로 생각할 수 있지만 가장 일반적인 것은 진동계에 댐퍼를 삽입하는 것이다. 댐퍼란 운동에너지를 열 에너지로 변환하여 뿌리는 장치이다. 하지만 댐퍼의 감쇠력에 따라 진동의 양상이 트게 변화하게 된다. 여기서는 감쇠력의 차이가 진동현상에 미치는 영향을 자세히 보기로 하겠다.

감쇠력이 다른 자유진동

진동은 질량과 스프링의 탄성력에서 발생한는 것이라고 설명했다. 진동계에 댐퍼를 삽입하는 경우, 이 진동은 감소되며 결국 움직임은 멋는다. 이때 댐퍼의 감쇠력의 크기에 따라 진동꼐가 감쇠하는 모습이 다랄진다. 여기서 댐퍼의 감쇠력의 크기가 질령과 스프링의 탄성력의 효과에 대하여 어느 정도의 크기인지 나타내는 지표가되는 것이 지표비이다.

감쇠비가 1 이상인 경우, 감쇠력이 질량과 스프링보다 더욱 큰 상태가 되기 때문에, 진동계의 움직임은 비진동적으로 수렴한다. 이 상태를 과감쇠라고 한다. 과감속 상태에 대해서는 시간에 따라 진폭은 감소하여 0에 가까워지는 무주기 운동

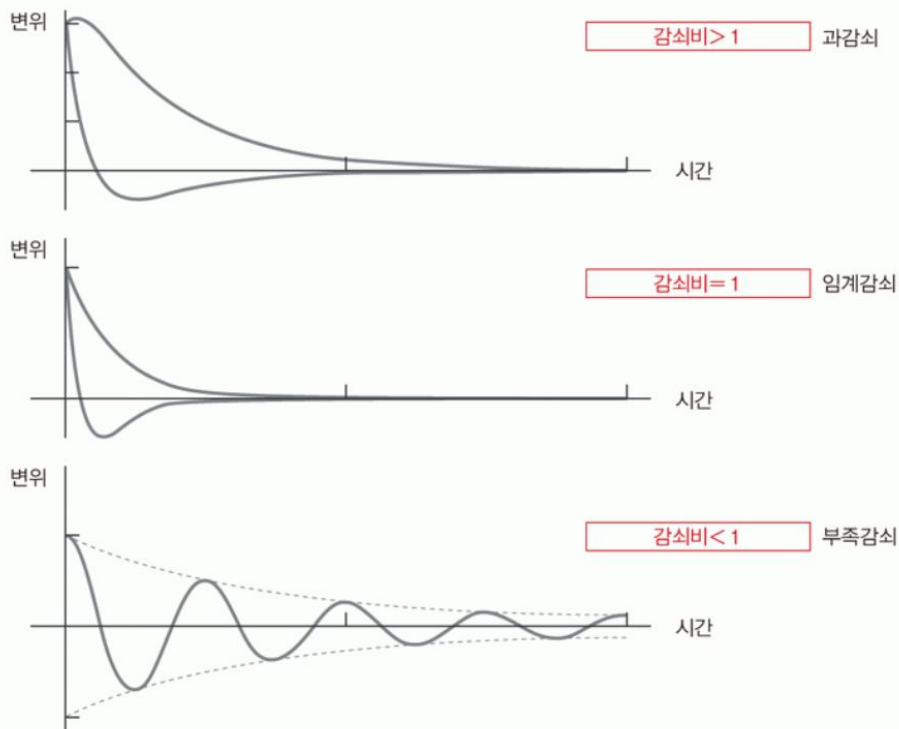
그림 1-5-1 감쇠계 진동의 예

이 된다. 감쇠비가 1 미만일 때 감쇠력에 대하여 질량과 스프링 효과가 강한 상태이기 때문에 시간과 함께 진폭은 진동적으로 감소하여 그 진동주기를 늘려간다. 이 상태를 부족감쇠라고 한다. 또한 감쇠비 1일 때는 진동을 결정하는 임계상태로 그 상태를 임계감쇠라고 한다. 참고로 감쇠비가 0일 때는 감쇠력이 발생하지 않으며 댐퍼가 작용하지 않는 상태와 같기 때문에 진동이 감소하는 일은 없다.

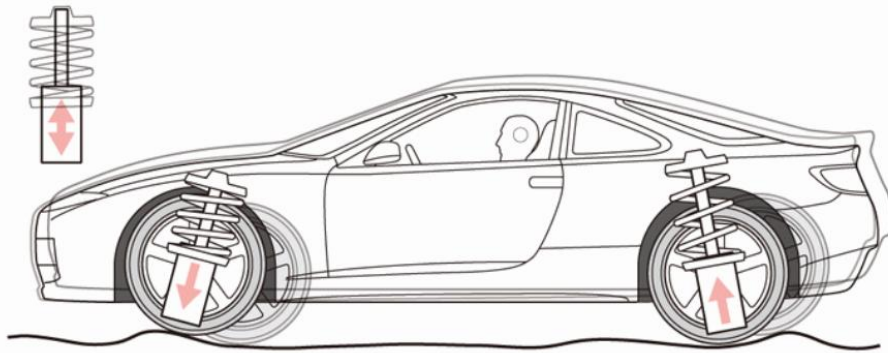
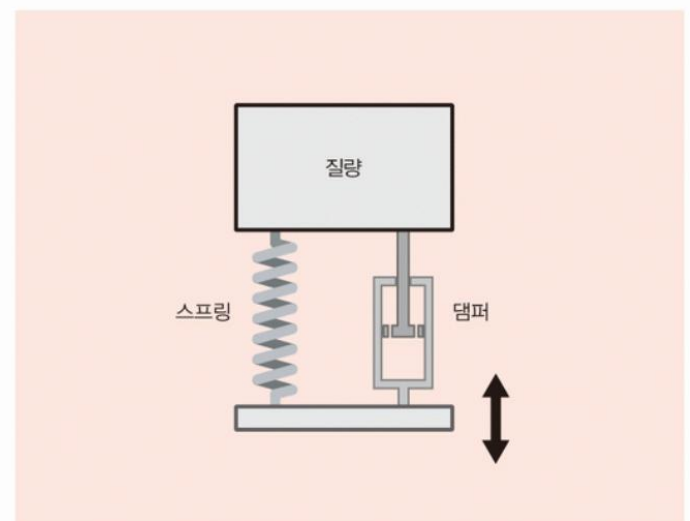
그림 1-5-2 댐퍼의 감쇠력에 따라 승차감이나 접지력이 급격하게 변화하지만, 서스펜션의 튜닝에서 감쇠비는 가장 중요한 지표가 된다. 감쇠비는 일반 승용차의 경우 0.1 ~ 0.3, 스포츠카에서는 약 0.5, 레에싱카는 약 0.7으로 설정되어 있다고 한다(다만 여기서 언급한 수치는 어디까지나 전형적인 예일 뿐이며 실제 차량이 반드시 이대로 튜닝되는 것은 아니다)

TIPS 진동하는 기계 또는 구조물에서 이를 지탱하는 기초 또는 벤치에 진동이 전해지지 않도록 하기 위해, 또는 반대로 기초 또는 벤치의 진동이 기계나 구조물로 전달되지 않도록 고무, 타이어, 스프링, 댐퍼 등의 물체를 지지하는 조치가 취해진다. 이러한 지지부를 포함한 진동계를 그림 1-5-3과 같은 모델화하여 기계와 기초 사이에 어떠한 진동이 전달되는지 관찰하는 것이 일반적으로 자주 행해진다. Part 2에서 자세히 다루겠지만 서스펜션도 모델화하여 스프링, 댐퍼, 질량의 조합으로 표현하여 진동특성을 해석할 수 있다.

그림 1-5-3 기초가 진동하는 모델

1 6 위상차

▶ 위상차란 진동 리듬이 다른 것

자동차가 노면의 요철을 넘을 때 그 기복은 서스펜션에 의해 〈축소〉되어 차체에 전해진다. 이러한 경우 차체의 진폭은 노면의 실제 기복보다 적어지는 셈이다. 즉, 차체의 진동을 서스펜션이 축소하여 차체에 전달하는 것이다. 이러한 노면의 기복의 "입력"에 차체의 진폭이라는 "응답"이 어떤 형식으로 제어되는 지에 주목하는 것이 중요하다. 그러나 진동론은 그것뿐이 아니다. 진동을 말할 때 〈입력에 얼마나 빨리 반응하는가〉라는 점도 아주 중요하다

그림 1-6-1 실제 노면의 요철과, 그 요철이 서스펜션을 통하며 생기는 차체의 진폭. 그 관계에 주목하자. 차체의 진폭을 어떻게 제어할 것인지도 중요하지만, 노면의 요철을 차체가 얼마나 빨리 응답하는지도 중요하다

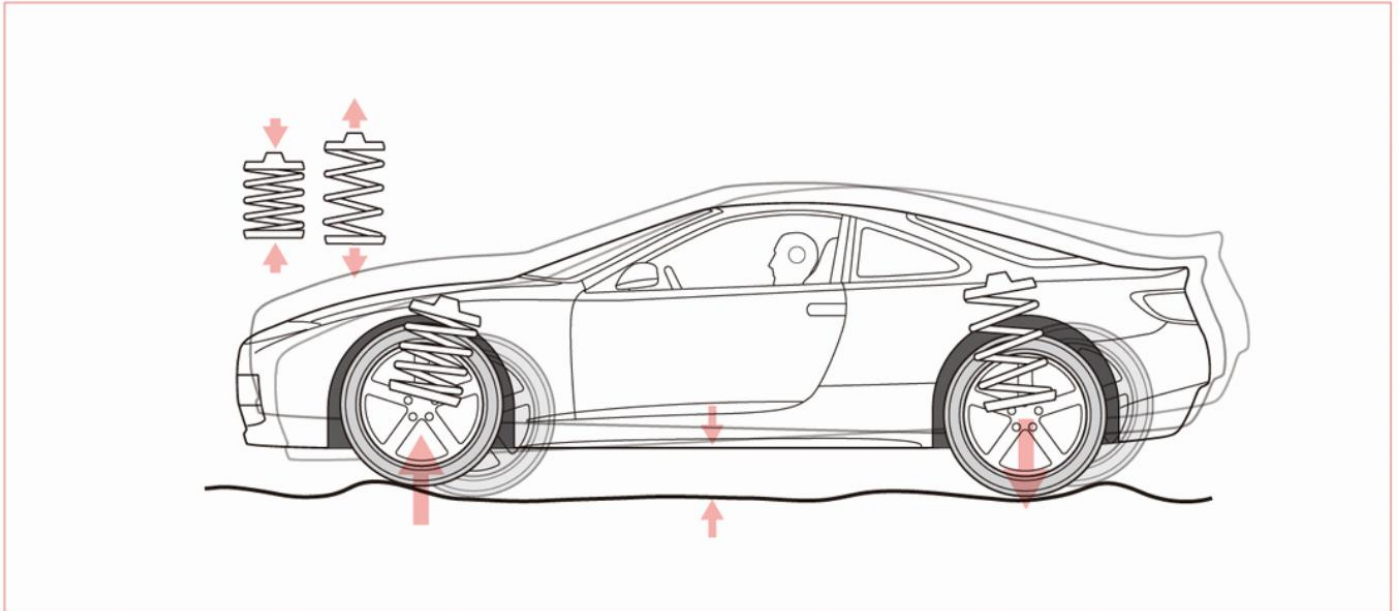
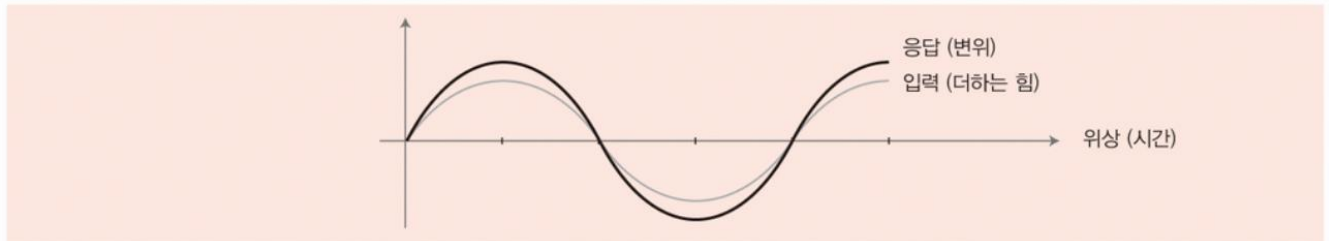
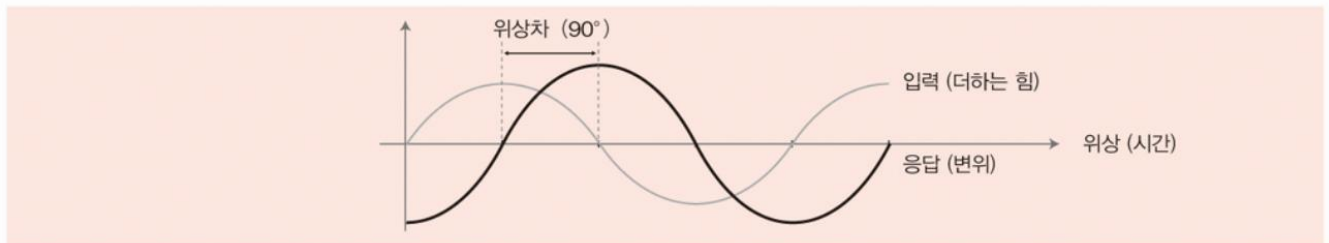
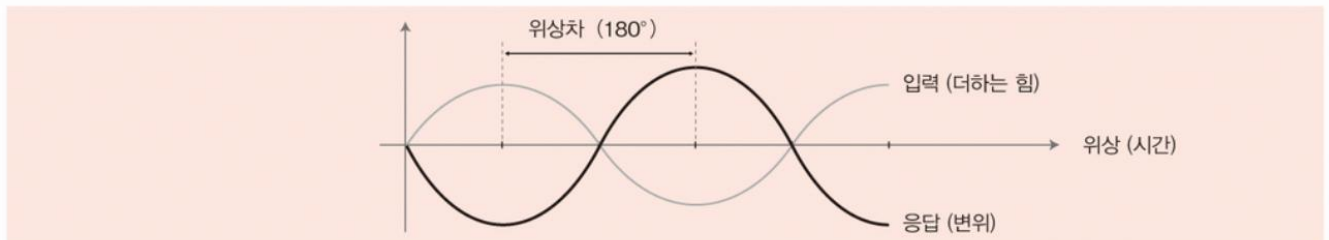



그림 1-6-2 독일의 서스펜션 제조업체 KW의 7 포스트 릭 (벤치)

그림 1-6-3

진동 리듬의 차이

어떤 진동계가 입력에 대해서 얼마나 빨리 반응하는지를 평가할 때 사용되는 것이 《위상차》다. 여기서도 스프링과 추로 이루어진 진동계를 이용해 설명해보자.

스프링과 추를 고유진동수(공진주파수) 이외의 진동수로 강제적으로 힘을 더했을 때 어째서 손은 저항을 느끼는 것일까. 이 물음에 대해 〈고유 진동수 이외의 진동수는 그 진동계에 있어서 부자연스럽기 때문에 저항한다〉라고 설명했다. 이것은 〈손의 진동 리듬과 진동계에게 자연스러운 진동 리듬이 달라서〉라고 바꿔 말할 수 있다. 조금 더 구체적으로 설명하자면 〈진동을 더하는 방향과 추의 관성력의 방향이 어긋나 있다〉고 한다. 이 리듬의 차이를 위상차라고 부른다.

그림 1-6-3을 보자. 매우 느린 진동수로 진동을 더하면 손의 힘의 방향과 스프링의 신축은 같은 방향으로 같은 리듬으로 진동한다. 이 때 입력과 응답에는 어긋남이 없어 위상차는 0이다(그림 1-6-3 위).

그런데 진동수를 매우 높이면 손에 의해 가해진 힘과 추의 관성력은 반대방향이 되기 때문에 위상차는 180도가 된다(그림 1-6-3 아래). 참고로 고유진동수로 진동시키면 위상차는 90도가 된다(그림 1-6-3 중간).

주파수 응답

▶ 서스펜션과 차량운동 분석으로

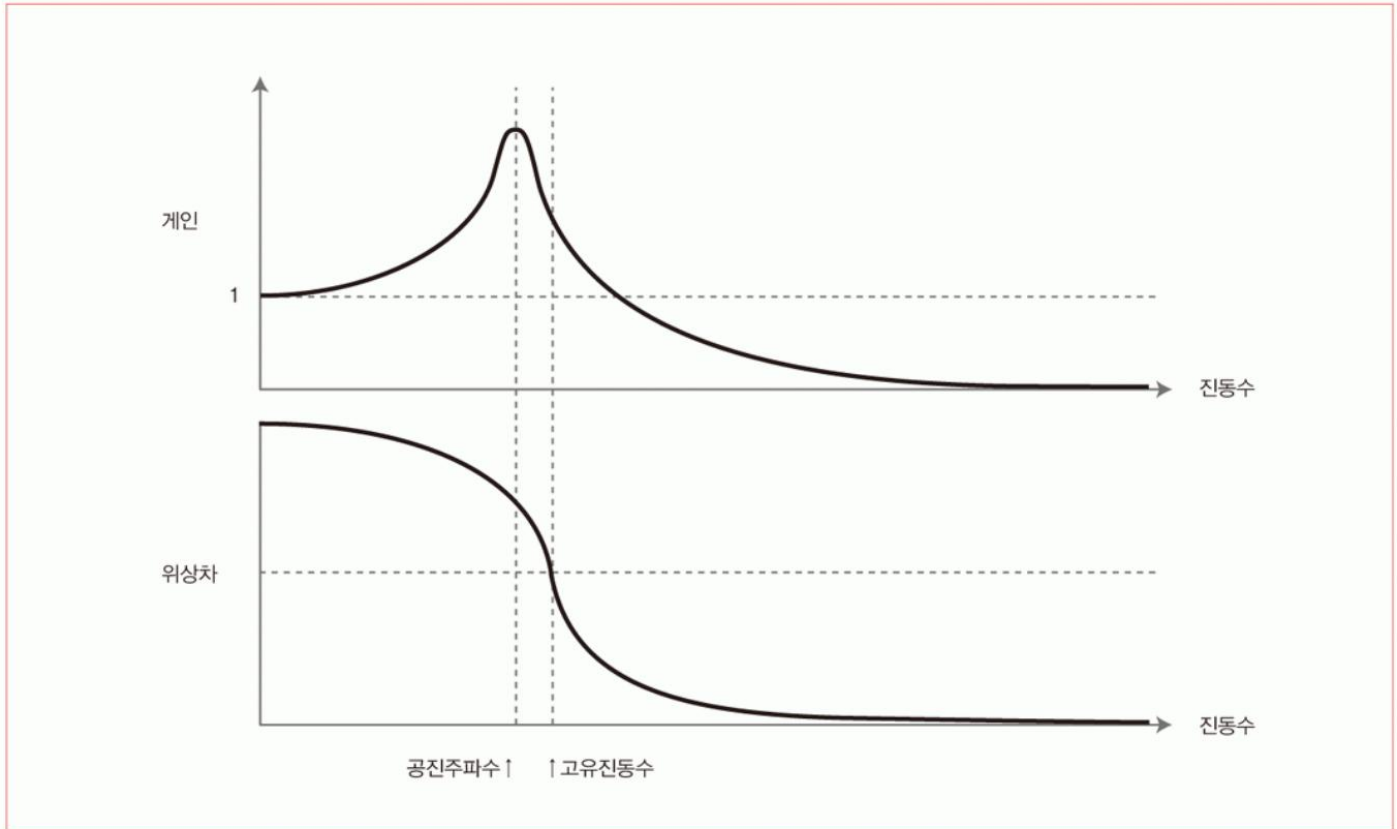
주파수 응답과 보우드 선도

지금까지는 진동을 더할 때의 진동수(주파수)에 대해 진폭과 위상차가 변화하는 경우를 따로 생각했다. 그러니 진폭과 위상차의 변화는 따로 분석하는 것이 아니라 동시에 관찰하는 것이므로 주목할 진동계의 진동특성을 더욱 자세히 알 수 있는 경우가 많다.

그리고 여기서는 가진의 진동수에 대해 진동계의 진폭이나 위상차가 어떻게 변화하는지 동시에 볼 수 있다. 여기서 가진 주파수(가진진동수)에 대하여 진폭과 위상차라는 진동계의 응답을 주파수응답이라고 한다.

자동차의 진동을 분석할 때, 주파수응답을 분석하는데 보우드 선로라고 하는 그래프가 빈번하게 사용된다. 그림 1-7-1는 보우드 선로의 한 예이다. 위 그래프는 게인 선도라고 불리는 것으로, 가진(입력)에 대한 게인을 나타낸다. 여기서 게인이란 입력의 크기에 대한 응답의 크기의 비율을 말한다. 즉 게인이 1보다 크다면 입력에 대한 응답이 커졌다는 것으로 1보다 작다면 입력에 대하여 응답이 작아졌다는 것을 뜻한다.

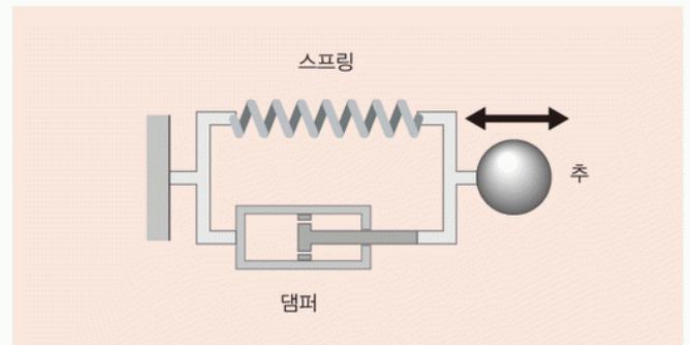
아래 그래프는 위상선도로 입력에 대한 응답의 위상차를 나타낸다. 즉 입력에 대한 응답이 얼마나 틀어지는지를 나타내는 거싱다. 위상선도에서 위상차가 큰 마이너스 값이 될수록 입력에 대해 응답이 늦게 발생함을 알 수 있다.

그림 1-7-1 스프링, 댐퍼, 추로 이루어진 진동계의 주파수응답을 나타낸 보우드 선도

감쇠계의 진동을 보우드 선로로 감싼다

스프링과 추, 댐퍼로 이루어진 진동계(그림 1-7-2)의 한 예를 보우드 선로(그림 1-7-1)를 사용하여 진동특성을 확인하도록 해보자. 다만 이번에는 댐퍼를 부족감쇠, 즉 감쇠비가 1이하로 설정되어 있다고 하자.

이 진동 모델을 정지상태에서 서서히 가진의 진동수(주파수)로 올려보자. 진동수가 극히 낮은 대의 게인은 1, 즉 가진의 진폭과 응답의 진폭에는 차이가 없다. 그러나 그로부터 주파수를 서서히 올려가면 게인이 커지고,. 응답의 진폭이 입력에 비해 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 어떤 진동수가 되면 게인은 피크가 된다. 이것이 공진이며 이때의 진동수가 공진 주파수이다. 더욱이 진동수를 올려가면 게인은 작아지며 0에 가까워진다. 즉 가진 진동수가 높아질수록 응답의 진폭은 0에 가까워진다.

한편 위상차는 진동수가 극히 낮을 경우에는 가진과 스프링은 같은 리듬으로 같은 방향으로 운동하므로 0이 되지만, 고유진동수가 $-90°$로 매우 높은 진동수일 때는 $-180°$가 된다.

그림 1-7-2 스프링, 댐퍼, 추로 이루어진 진동계 모델. 스프링과 병행하여 설치된 댐퍼가 공진 시 진동이 무한히 커지는 것을 방지한다.

서스펜션에서 만들어지는 진동

▶ 다자유계의 진동

지금까지는 이야기를 간단히 하기 위해 스프링, 추, 댐퍼, 같은 기계 요소를 각각 하나씩 조합한 단순한 진동 모델을 사용했다. 그러나 실제 자동차는 이들 기계 요소가 다양하게 조합된 진동계다.

따라서 실제 서스펜션의 튜닝과 같은 진동 제어를 실시하기 전에 여러개의 진동 요소를 가지는 진동계의 기본적인 특징을 먼저 파악해야 한다.

서스펜션의 진동특성

자동차의 서스펜션에는 다양한 기구가 있지만 결국은 질량과 스프링, 댐퍼로 구성된 진동계이며 그림 1-8-1처럼 모델화할 수 있다. 차체와 휠 사이에 있는 스프링과 댐퍼는 서스펜션에, 휠과 노면 사이에 있는 스프링과 댐퍼는 타이어의 탄성과 감쇠를 나타낸다.

이 진동 모델을 다양한 주파수로 진동시켜 보자(그림 1-8-2). 정지상태에 가까운 낮은 주파수에서는 지면의 변위와 차체의 변위는 같은 크기로 진폭비는 1이다. 천천히 주파수를 올리면 거기에 따라서 진폭이 커진다. 어떤 진동수에 이르면 진폭은 피크를 맞아 스프링 위쪽으로 공진이 일어난다. 진동수를 더 올리면 진폭은 줄어들지만 어느 순간 진폭이 증폭되어 스프링 밑에 공명이 일어나며 다시 차체의 진폭은 증가한다. 진동수를 더 올리면 진폭은 다시 줄어들어 이윽고 0에 가까워진다.

그림 1-8-1 바퀴가 하나뿐인 1/4 차량 진동모델. 타이어 역시 스프링과 댐퍼의 성질을 가진 훌륭한 진동계이다.

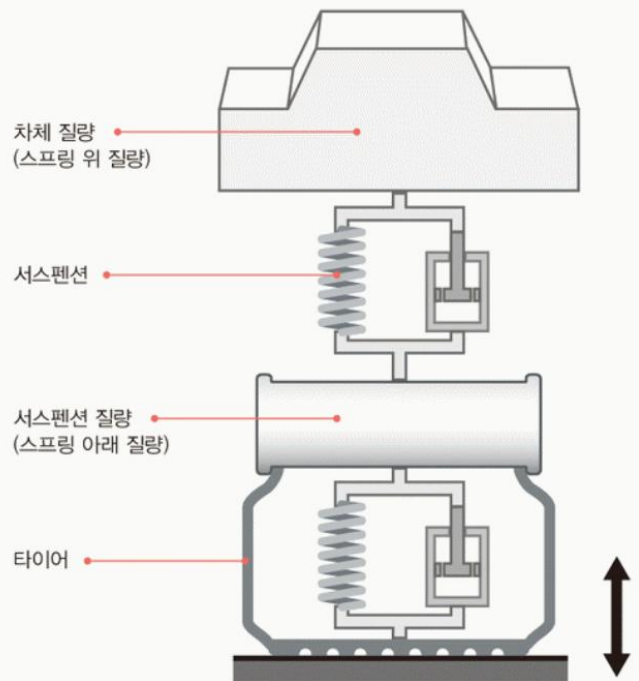
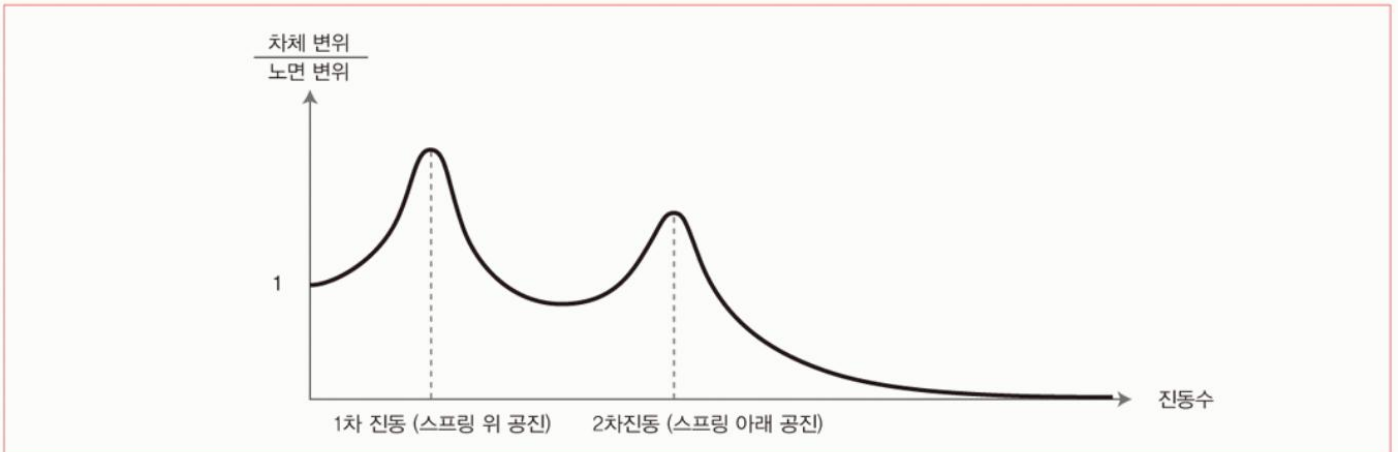



그림 1-8-2 진동수를 서서히 올렸을 때의 변화. 비교적 낮은 진동수에서 차체의 공진이 일어나고, 그보다 높은 진동수에서 휠의 공진이 발생한다.

서스펜션의 진동특성

위의 예에서는 공진이 두 번 일어났지만 공진은 진동계가 움직일 수 있는 방향의 수만큼 일어날 수 있다. 이 때 진동계가 움직일 수 있는 방향의 수를 자유도라고 부른다. 이 경우 타이어와 스프링이 각각 상하 한 방향으로 움직일 수 있으므로 총 두 개의 고유 진동수가 있으며, 두 개의 공진이 일어날 수 있게 되므로, 이 진동계의 자유도는 2이다.

최초의 공진을 1차 공진, 두 번째 공진을 2차 공진이라고 부른다. 일반적으로 기계의 공진은 무수히 일어나지만, 공학적으로 중요한 것은 낮은 차의 공진이며 고차 공진은 보통 무시된다. 이 예에서는 스프링 위의 공진이 스프링 밑의 공진보다 더욱 중요하다.

이는 같은 에너지의 진동에서도 보통 저주파일수록 진폭이 크고, 이들 성분이 계 전체의 현상을 지배해 진동특성의 대부분을 결정하기 때문이다.

그림 1-8-3 4 포스트 리그 시험 광경. 뉘르부르크링 24시간 레이스에 참가한 GT-R의 서스펜션 평가를 실시하는 중이다.

2-1 타이어의 역학

▶ 우선 타이어가 만드는 힘을 살펴보자

코너링 포스

물체를 전단하듯 변형시키는 힘을 전단 응력이라고 하며 물체가 전단 응력에 대항하는 성질을 전단 탄성이라고 한다. 만약 타이어에 횡방향의 전단 응력이 작용하면 그림 2-1-1처럼 타이어는 횡방향으로 변형한다. 그러나 동시에 타이어는 이러한 전단 응력에 대항하여 원래 모습으로 돌아가고자 하는 힘을 발휘한다. 타이어는 이처럼 자신을 변형시키는 작용에 대하여 반 발하여 차량의 가속, 감속, 선회에 필요한 힘을 만들어 낸다.

더 자세히 들여다 보자. 코너링하는 중에 타이어를 간단히 그림으로 그리면 그림 2-1-2처럼 나타낼 수 있다. 이 그림을 보면 타이어의 회전면과 차량의 진행방향에 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 타이어는 회전하면서 변형하여 힘을 발생시킨다. 여기서 회전면과 진행방향이 만드는 각을 슬립각이라고 하며 진행방향에 대하여 수직방향으로 발생하는 힘의 성분을 코너링 포스라고 한다. 차량이 선회할 수 있는 것은 타이어가 이처럼 코너링 포스를 발생시키기 때문이다.

일반적으로 점단 탄성이 큰 편이 같은 슬립각에서도 큰 코너링 포스를 발생시킨다. 단 전단 탄성이 극단적으로 클 경우 작은 슬립각의 차이로 마찰이 포화에 이르러 드라이버의 감각에서 벗어나게 되며, 반대로 전단 탄성이 너무 작을 경우 변형이 지나치게 커져 드라이버가 불안을 느끼게 된다.

그림 2-1-1 횡단면에서 본 타이어의 변형과 힘의 관계. 일반적으로 전단 탄성이 큰 타이어가 큰 코너링 포스를 만든다

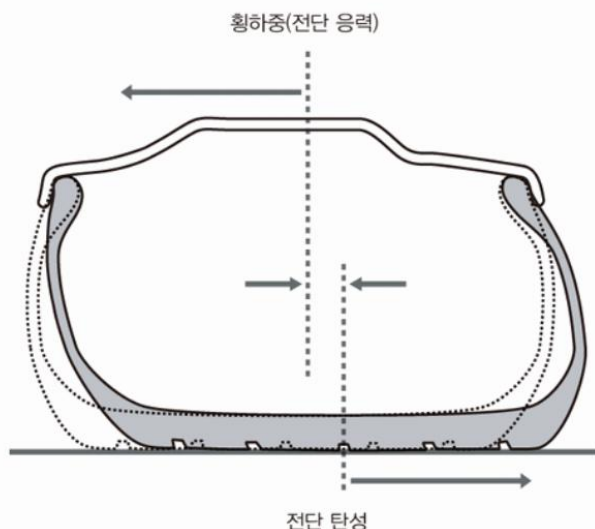
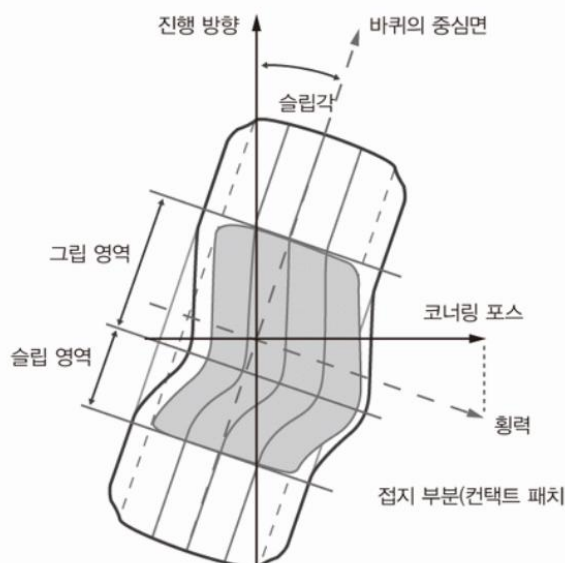
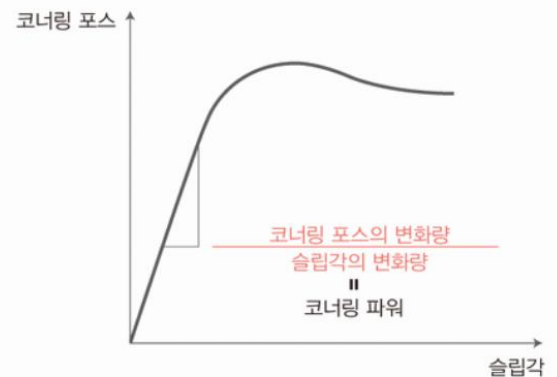



그림 2-1-2 위에서 바라본 타이어의 변형과 힘의 관계. 타이어 횡력은 바퀴 중심면에 대해 수직으로 발생한다. 코너링 포스는 진행 방향에 대한 수직방향의 횡력 성분이다

코너링 포스와 슬립각의 관계

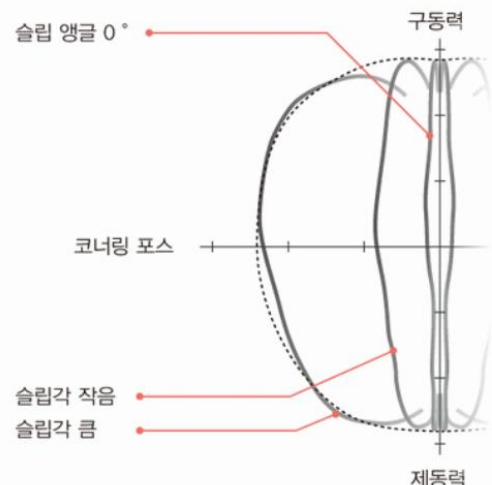
슬립각과 코너링 포스의 관계를 그래프로 나타낸 것이 그림 2-1-3이다. 슬립각이 작은 범위에서는 직선적으로 코너링 포스가 커지다가 어느 정도 슬립각이 커지면 포화에 이른다. 이 코너링 포스가 변화하는 비율을 코너링 파워라고 부른다. 사소한 스립각의 변화로 커다란 코너링 포스가 발생하는 타이어는 코너링 파워가 크다고 말한다.

그림 2-1-3 슬립각과 코너링 포스의 관계. 슬립각이 작은 범위에서는 코너링 포스가 크지만, 슬립각이 어느 정도 커지면 코너링 파워는 증가하지 않는다

공기압과 코너링 파워

일반적으로 공기압이 낮은 영역에서는 그 증가와 함께 타이어의 전단탄성이 높아지며 코너링 파워가 커진다. 그러나 공기압이 너무 높아지면 노면과의 접지면적이 줄어들게 된다. 이렇게 접지 면적과 전단탄성은 공기압에 대한 상반된 효과를 가져온다. 수직하중이 비교적 작은 경우에는 공기압 증가에 따른 접지면적의 감소효과가 전단탄성의 증가보다 영향이 크기 때문에 코너링 파워는 감소한다. 반면 수직하중이 비교적 큰 경우에는 공기압 증가에 따른 전단탄성 증대효과가 지배적이 되어 코너링 파워 증가를 가져온다. 최대한의 코너링 파워를 얻기 위해서는 타이어의 특성이나 차 무게를 감안해 이들의 균형을 맞추는 것이 중요하다.

구동이나 제동과 함께하는 타이어의 횡력

자동차를 위에서 보았을 때 타이어의 회전과 수직방향으로 만들어지는 그립력을 횡력이라고 한다. 이 횡력이 구동이나 제동시에 어떻게 변화하느냐는 매우 중요하다. 브레이크나 액셀을 밟으면 타이어의 그립이 제동력이나 구동력에 사용되기 때문에 같은 슬립각이라도 횡력은 감소한다. 이 모습을 그래프로 나타낸 것이 그림 2-1-4이다. 실제 타이어는 전후방향과 좌우방향의 마찰력이 다르기 때문에 타원형이 된다. 레이싱카는 조타나 가속, 제동을 자주하므로 사선방향의 마찰력은 랩타임에 영향을 주기 쉽다.

그림 2-1-4 슬립각에 따라 타이어의 코너링 포스에 차이가 나타난다. 이 코너링 포스가 최대일 때의 궤적을 나타낸 마찰원.

자동차의 정상원선회

▶ 차의 선회는 앞뒤 타이어에 의한 모먼트 밸런스로 결정된다

스티어 특성의 정의

일정한 타각과 속도로 주행하는 차량은 어떤 선회반경을 유지한 채 원을 그린다. 이를 정상원선회라 부르며 차량 운동역학에서 자주 이용된다. 정상원선회하는 차량의 운동을 잘 살펴보면 차량 운동의 기본특성을 깊이 이해할 수 있게 된다.

어떤 속도로 정상원선회하는 차량이 있으며 이 상태에서 서서히 속도를 높인다고 가정해 보자. 만약 속도를 높였을 때 앞바퀴에 의한 모먼트가 커지면 속도증가와 함께 선회반경은 커지며 정상원선회를 지속하기 위해서는 스티어링 타각을 더 꺾어야 할 필요가 있다.

반대로 만약 앞바퀴의 모먼트가 커지면 속도와 선회반경이 작아지기 때문에 조향각을 줄일 필요가 있다. 이처럼 주행속도의 증가에 대해 전자처럼 타각이 부족한 특성을 언더스티어(US), 후자처럼 타각이 지나치게 되는 특성을 오버스티어(OS)라고 부르며 선회반경이 속도증감과 무관하게 일정한 값을 유지하는 특성을 뉴트럴스티어(NS)라고 하며 이러한 차량의 특성을 스티어 특성이라고 한다. 여기에서 주의해야 할 점으로 OS 차량은 어떤 속도에서 선회반경이 0이 된다는 사실이다. 선회반경이 0이란(그림 2-2-2) 차량이 스핀에 빠졌음을 의미한다. 이처럼 스핀에 이르는 속도를 안정한계속도라고 한다.

그림 2-2-1 속도를 증가시킬 때 차량의 궤적 변화

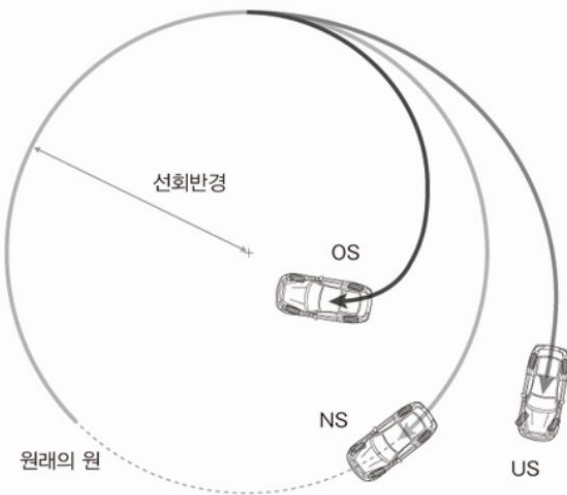
OS : 앞바퀴에 의한 모먼트>뒷바퀴에 의한 모먼트
US : 앞바퀴에 의한 모먼트<뒷바퀴에 의한 모먼트
NS : 앞바퀴에 의한 모먼트=뒷바퀴에 의한 모먼트

선회반경
OS
NS
US
원래의 원

그림 2-2-2 실제 타각이 일정할 때 스티어링 특성에 의한 속도와 선회반경의 관계

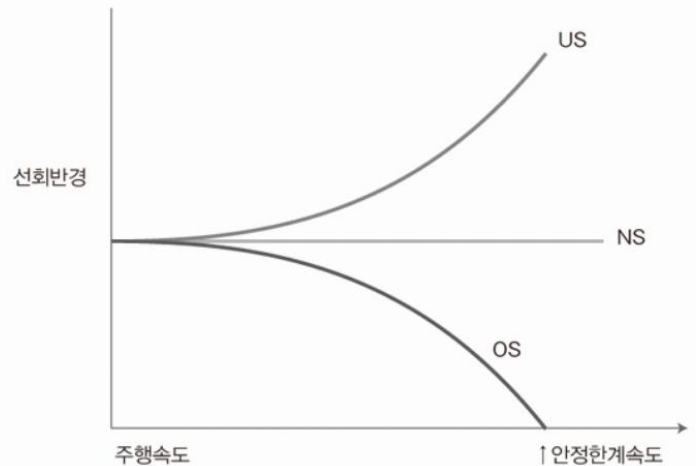



표 2-2-1 정상원선회 스티어링 특성의 특징

	US	NS	OS
M : 차량을 선회시키는 모먼트	M 앞바퀴< M 뒷바퀴	M앞바퀴 = M뒷바퀴	M 앞바퀴> M 뒷바퀴
β : 슬립각	β앞바퀴>β뒷바퀴	β앞바퀴 = β뒷바퀴	β앞바퀴<β뒷바퀴

코너링 포스와 슬립각의 관계

앞뒤 타이어 슬립각 β앞바퀴, β뒷바퀴와 스티어 특성 사이에는 흥미로운 관계가 있다. 표 2-2-1을 보자. 정상원선회 중 앞뒤 슬립각의 관계가 β앞바퀴 > β뒷바퀴이면 US이며, β앞바퀴 = β뒷바퀴면 NS이고, β앞바퀴 < β뒷바퀴라면 OS가 된다. 이 관계는 앞뒤 타이어 코너링 포스 이외 횡력이 작용하는 여부와 코너링 포스가 타이어 슬립각에 비례하는지와 상관없이, 정상원선회를 하는 차량에서 기하학적으로 결정되는 관계이다.

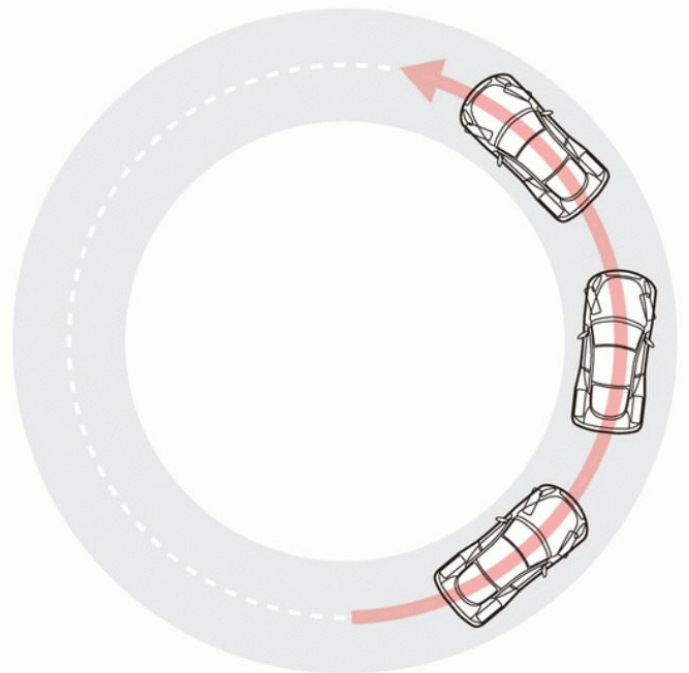
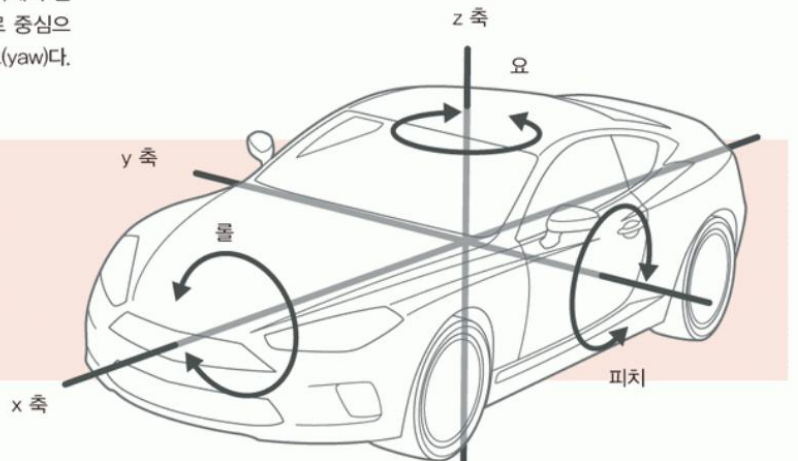
그림 2-2-3 차량의 스티어 특성은 앞뒤 타이어의 슬립각 차이에서 판단할 수 있다

TIPS 코너링과 서스펜션의 움직임을 논할 때는 차량에 발생하는 힘을 그림 2-2-4처럼 세 회전운동으로 나누어 생각하는 경우가 많다. 차체의 전후방향축(X축)을 중심으로 일어나는 회전이 롤, 좌우방향을 축(y축)으로 중심으로 일어나는 것이 피치, 상하방향축(z축)을 중심으로 일어나는 것이 요(yaw)다. 많이 쓰이는 단어이므로 기억해 두자.

그림 2-2-4 차량에 발생하는 세 선회운동

2-3 타각이 변화할 때 차의 반응

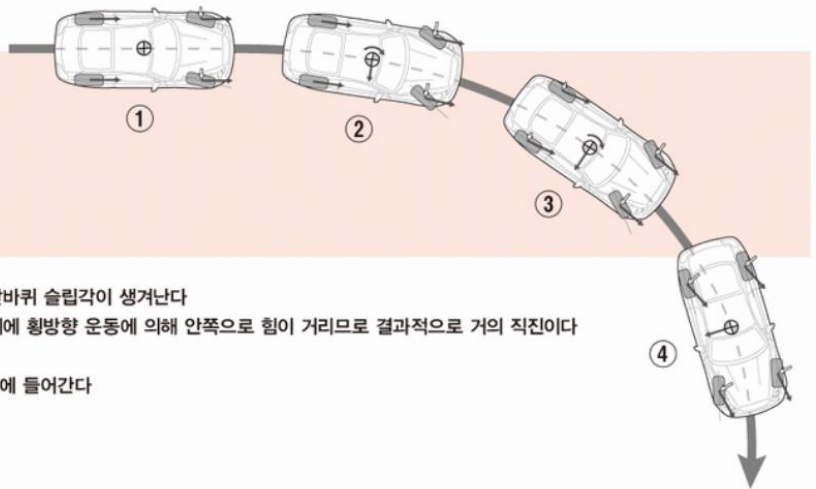
▶ 차량의 운동은 진동현상의 하나에 지나지 않는다

턴인의 메커니즘

정상원선회를 분석함으로써 차량 운동의 기본적인 성질을 이해할 수 있지만 타각이 변화할 때 차량이 어떻게 응답할 것인가 하는 문제 역시 실질적인 차량운동 해석에서 무시할 수 없는 중요한 과제이다.

그림 2-3-1을 예로 들어 처음에는 우선 턴인 메커니즘을 자세히 살펴보자. (1) 직진하고 있는 자동차가 스티어링 휠을 꺾으면 그 순간에는 관성에 의한 직진을 계속하려고 한다. 이로 인해 타이어의 방향과 진행 방향에 차이가 생기고 앞타이어에 슬립각이 생겨나 코너링 포스가 나타난다. 다만 코너링 포스는 타이어의 변형으로 발생하므로 거기에는 아주 미미하지만 타이어가 변형될 시간이 필요하다. (2) 이렇게 앞바퀴에 코너링 포스가 발생하면 그 모먼트에 의해 요(회전) 운동을 시작하는데, 뒷바퀴는 그 순간에는 아직 직진운동을 계속하고 있다. (3) 더 시간이 경과하면 뒷바퀴에도 슬립각이 달려 뒷바퀴 코너링 포스가 발생한다. (4) 앞바퀴와 뒷바퀴의 코너링 포스가 모두 정상상태까지 발생하게 되고 요 각속도도 어떤 수치로 정해져 정상적인 코너링 상태로 들어가게 된다.

이상과 같이 요 운동은 조타에 대해 시간차 없이 발생하는 것이 아니다. 차량의 관성과 바퀴의 힘의 발생 관계에서 양자 사이에는 약간의 시간차(위상차)가 존재한는 것에 주의해야 한다.

그림 2-3-1 턴인의 메커니즘

① 직진상태에서 핸들을 꺾는 순간은 관성에 의해 차량이 직진중이므로 앞바퀴 슬립각이 생겨난다
② 요(회전) 운동을 시작하지만 뒷바퀴는 요 운동에 의해 바깥쪽으로, 동시에 횡방향 운동에 의해 안쪽으로 힘이 거리므로 결과적으로 거의 직진이다
③ 요 운동이 더욱 커졌고, 뒷바퀴에도 슬립각이 발생한다
④ 앞뒤 바퀴의 코너링 포스가 원심력과 균형을 이루었다. 정상적인 코너링에 들어간다

스티어링 밸런스과 차량의 응답

드라이버의 조타 변화에 대한 차량의 응답성은 스티어링 특성과 속력에 크게 좌우된다. 그 예로 핸들을 펄스 상태(빠르게 돌렸다가 재빨리 되돌림)로 조작할 때 응답을 개념적으로 나타낸 예가 그림 2-3-2이다. US 차량은 어느 속도 이상에서는 진동적이 되지만 곧 수렴해 정상상태가 된다. NS 차량은 진동하지 않고 그대로 정상상태가 된다. OS의 차량은 안정한계속도 이상으로 주행할 경우 차량의 응답은 진동하기 이전에 발산되어 버려 스핀에 빠져버린다. 이를 정리한 것이 표 2-3-1이다.

이와 같이 US나 NS는 속도와는 상관없이 안정성을 유지하지만 OS의 차량은 안정한계속도 이상에서는 안정성을 잃는다는 성질이 있다.

그림 2-3-2 펄스 상태로 조작할 때 자동차의 주행궤적(중단)과 요 각속도의 변화

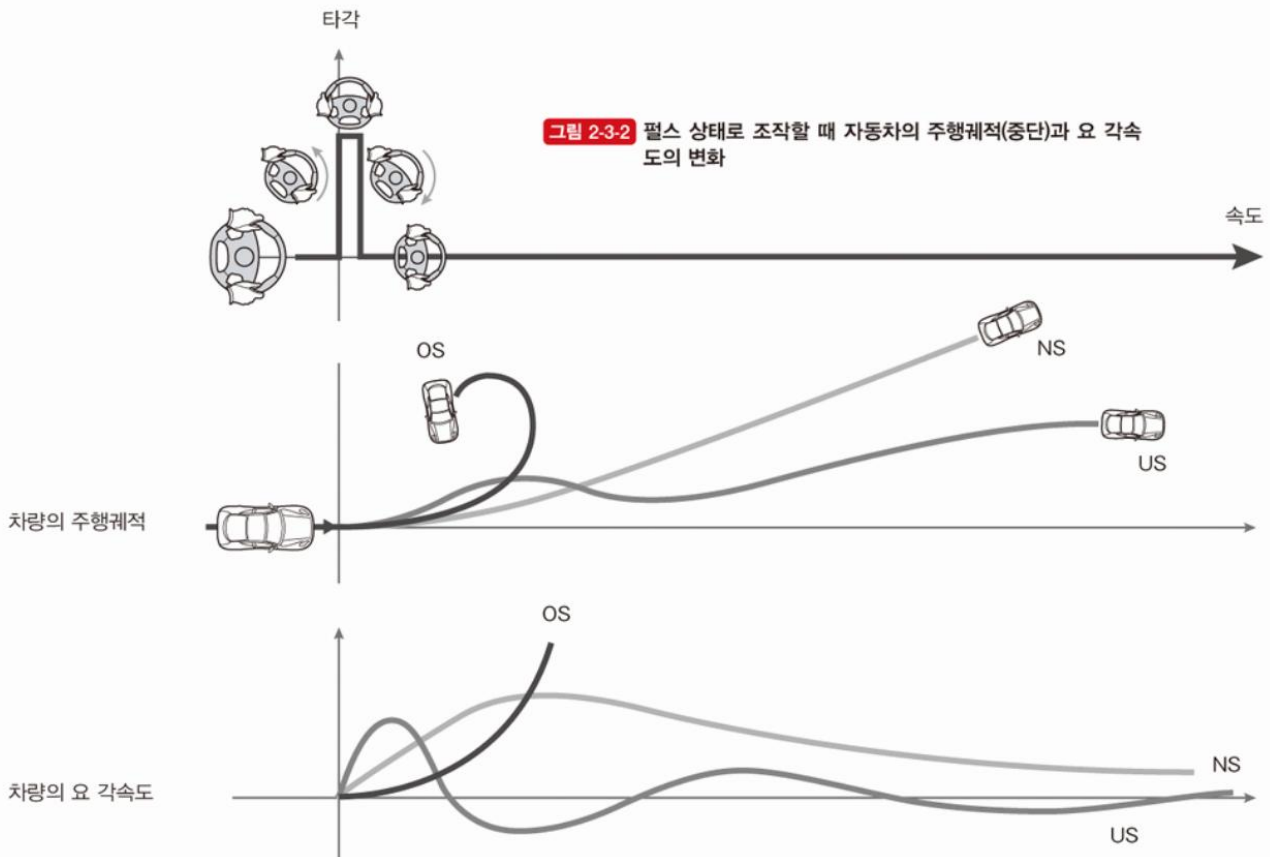



표 2-3-1

US		진동적으로 감소
NS	비진동적으로 감소	
OS		발산

↑안정한계속도 차속→

진동이론의 차량운동 적용

여기서 1-5에서 설명한 감쇠비에 인한 진동양상의 차이를 떠올려 보자. 1-5에서는 감쇠비가 1이하라면 부족감쇠이며 진동계 응답은 진동적으로 되며 감쇠비가 1 이상이면 과감쇠로 응답은 진동하지 않고 감쇠하여 감쇠비가 1이면 임계감쇠라고 하는 것을 확인했다. 여기서 질량과 스프링, 댐퍼로 만들어진 진동계의 움직임과 그림 2-3-2에서 보이는 차량 운동이 닮아 있는 점이 눈에 띈다.

사실 Part 1에서 본 질량과 스프링, 댐퍼로 만들어진 진동계도 차량 운동도 감쇠비와 공진 주파수(또는 고유진동수)와 같은 일정한 추상적인 개념에서 움직임을 고찰하면 양자의 차이는 전혀 없으며, 무엇이든 하나의 진동계로 취급할 수 있으므로, 차량의 운동은 한 진동현상의 예에 지나지 않는다.

예를 들어 그림 2-3-2에서 나타낸 예를 사용하여 구체적으로 살펴보자. US인 차량은 요 감쇠의 감쇠비가 1이하이기 때문에 응답은 진동적이다. OS인 차량은 요 감쇠의 감쇠비가 1 이상이기 때문에 응답은 비진동적이다. NS인 차량은 US와 OS 사이에서 요 감쇠의 감쇠비가 1인 임계상태이므로 응답은 비진동적이다(여기서 요 감쇠란 요 운동을 감쇠시키는 작용이다).

주기적인 조타에 대한 차량의 응답

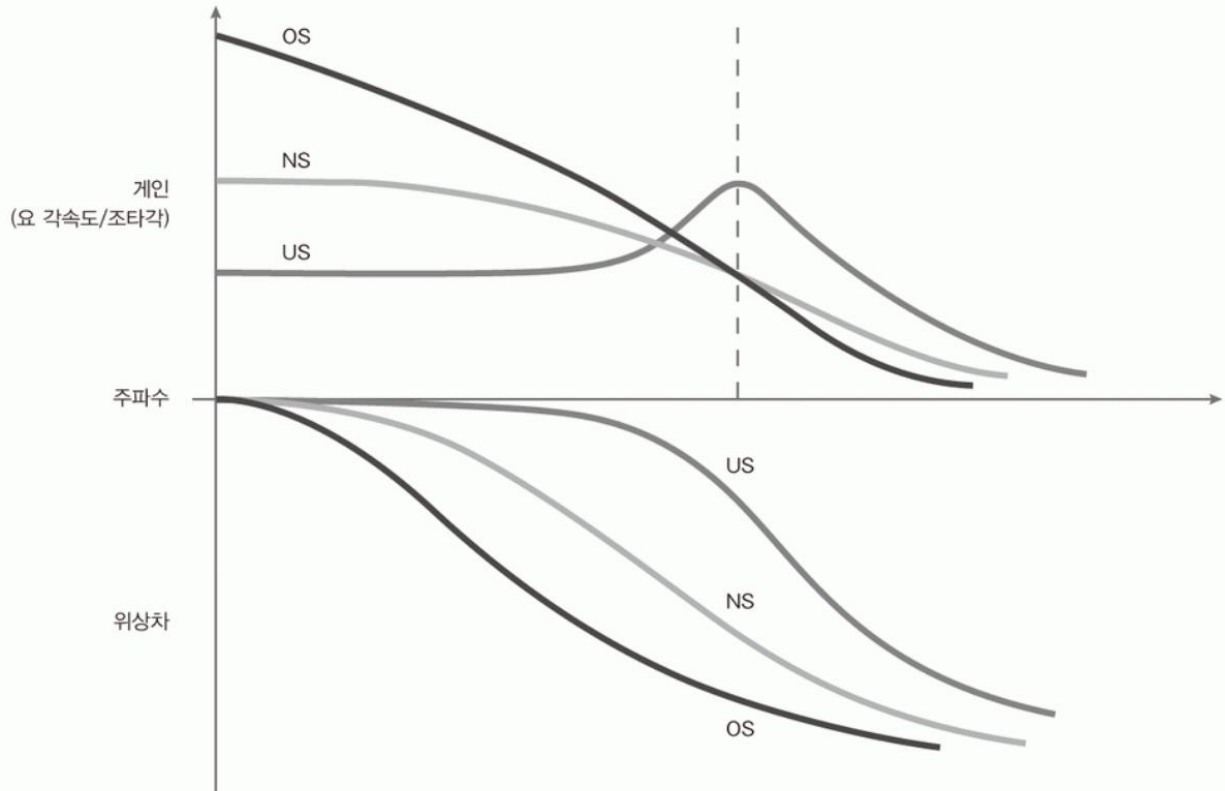
▶ 보우드 선도에 의한 차량 특성을 이해한다

스티어 특성과 주기적 조타에 대한 응답

앞서 차량의 운동은 진동현상의 하나에 지르지 않음을 설명했다. 일정한 속도로 스티어링을 〈꺾고〉 〈되돌리는〉 조작을 반복할 때(주기조타를 한다) 그 빠르기(조타 주파수)를 바꿔가며 어떻게 응답하는지를 진동이론을 통해 조사하여 스티어 특성에 따른 차량의 다양한 특성을 알아 보도록 하자.

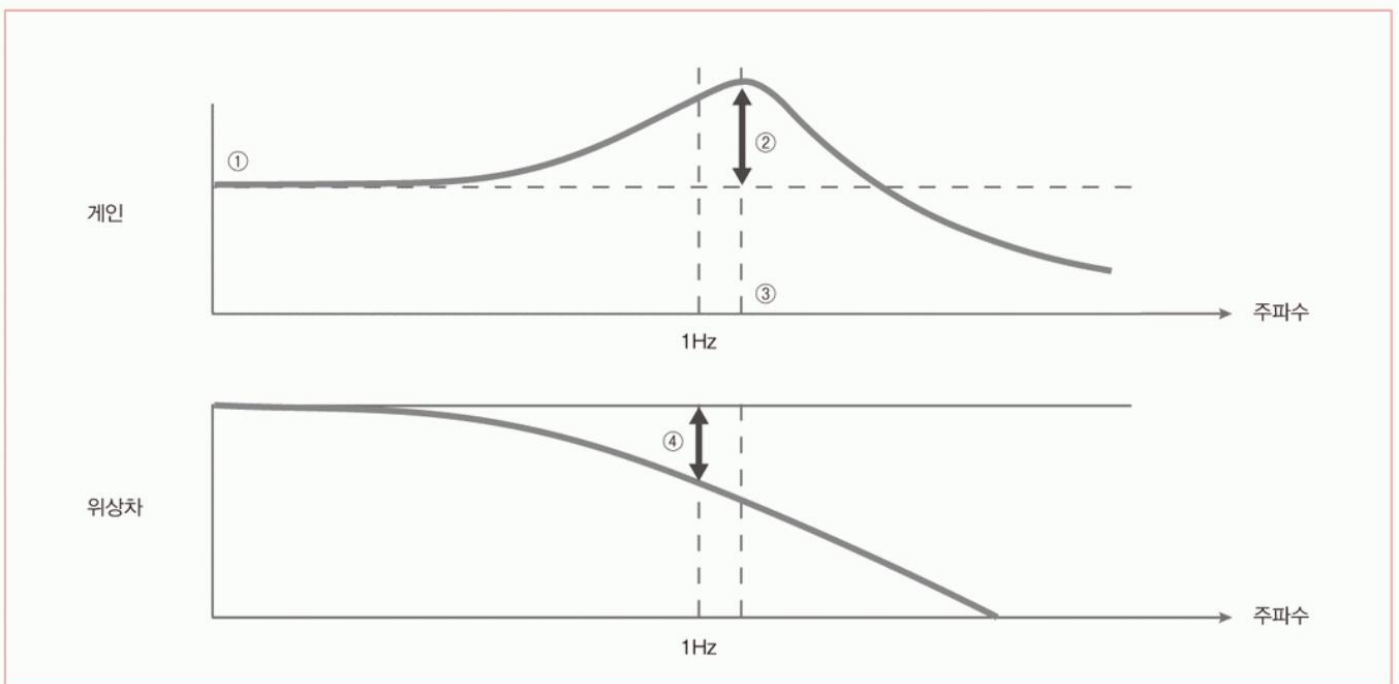
1-6에서 배운 보우드 선도를 떠올려보자. 그림 2-4-1은 주기적인 조타에 대해 요 각속도의 주파수 응답을 나타낸 보드 선도이다. 조타 주파수가 매우 작을 때(스티어링휠을 천천히 조작한다)의 게인(진폭비)는 OS, NS, US 모두 정상원선회의 요 각속도에 거의 일치한다. 주파수가 커지면 US 차량만큼은 어느 주파수에서 피크가 되고 진폭비가 커지지만 NS와 OS 차량은 진폭비에 피크가 생기지 않고 주파수가 늘어남에 따라 게인이 감소한다.

위상 차이를 그림으로 보면 조타 주파수가 높아짐에 따라 위상 지연이 커지지만 US 차량은 위상차가 가장 작다. 즉 언더스티어 차량이 조타에 가장 빠르게 반응하는 차라고 할 수 있다.

그림 2-4-1 기적인 조타에 대한 요 각속도 응답성의 스티어 특성에 따른 차이의 개념도

보우드 선도에서 주목할 점

여기서 보우드 선도를 실제로 활용하는 방법을 조금 더 구체적으로 살펴 보자. 보우드 선도에는 주목할 포인트가 몇 가지 있다.

요 각속도의 주파수 응답을 예로 들면 첫째로 극저주파의 게인이다(그림 2-4-2의 ① 부분). 이 값은 정상원선회 때의 수치와 거의 같다. 두번째는 게인의 피크치 높이다(그림 2-4-2의 ② 부분). US가 강한 차량은 요 감쇠가 적어지기 때문에 공진이 커지며 게인의 피크치는 높아진다. 다만 NS와 OS에는 피크가 나타나지 않는다. 세 번째는 공진주파수이다(그림 2-4-2의 ③ 부분). 공진주파수가 높을수록 응답성이 좋고 드라이버는 스티어링 휠 조작의 효과를 예리하게 느낄 수 있다. 네 번째는 위상 지연이다(그림 2-4-2의 ④ 부분). 위상 지연이 클수록 조타각에 대해 요 각속도 발생이 늦어진다. 좋은 스티어링 특성을 확보하려면 적당한 공진점 높이를 확보하고 위상지연이 작은 차량, 즉 US인 차량을 만들어야 한다.

그림 2-4-2 보우드 선도의 네 가지 포인트

2-5 차체의 롤과 운동

▶ 롤 운동을 스티어 특성 조정에 활용한다

선회 중인 차량은 차량이 바깥 쪽으로 롤하게 된다(P39. 그림 2-2-4 참조). 지금까지는 단순화해 설명하기 위해 차체의 롤 운동은 고려하지 않고 이야기를 이어왔지만 실제로는 롤 운동을 고려한 경우와 하지 않은 경우에 차량 특성에 차이가 발생한다.여기에서는 롤 운동이 차량의 운동에 미치는 영향을 생각해 보기로 한다.

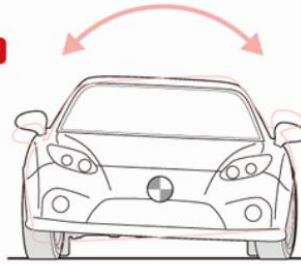
그림 2-5-1

하중에 따른 코너링 포스의 변화

그림 2-5-2를 보면 하중이 2배가 되어도 코너링 포스가 2배가 되지는 않는다. 이는 하중이 높아지면서 코너링 포스의 증가가 점차 무뎌지기(포화곡선적이라고 한다) 때문이다. 차량이 선회할 때에는 안쪽 바퀴에서 바깥쪽 바퀴로 하중이동이 일어나지만, 위와 같은 이유로 좌우 코너링 포스의 합은 하중이동을 고려하지 않은 경우보다 감소하게 된다. 즉 선회 시에 하중이동이 클수록 좌우 코너링 포스의 합의 감소량도 커지게 된다.

그림 2-5-2 타이어 하중과 코너링 포스의 관계. 하중과 코너링 포스는 비례하지 않으며 하중이 2배가 되어도 코너링 포스가 2배가 되지는 않는다.

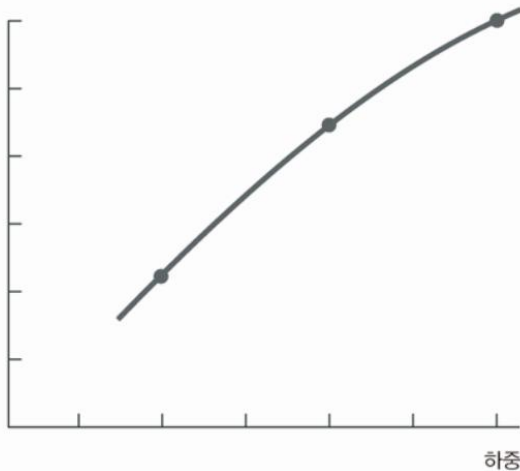
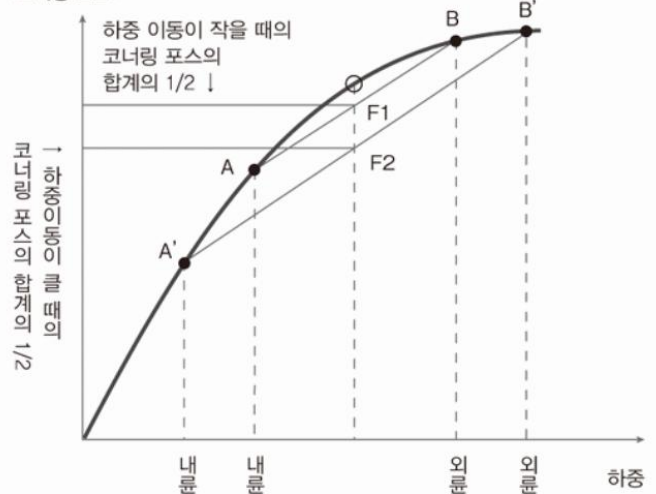



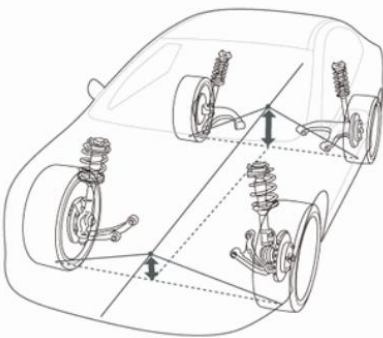
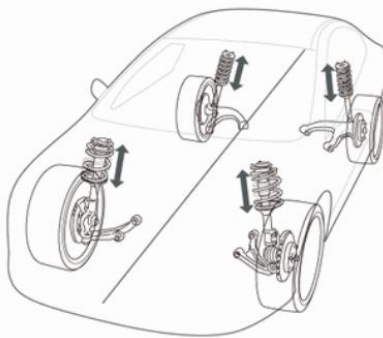
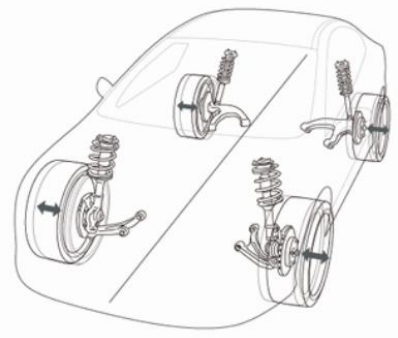
그림 2-5-3 하중이동이 큰 차량과 작은 차량을 비교해 보자. 하중이동이 작은 차량에서는 안쪽 바퀴 A와 바깥쪽 바퀴 B의 합계의 절반 F1이 코너링 포스가 되는데 비해 하중이동이 큰 차량에서는 A'와 B'의 합계의 절반인 F2가 코너링 포스가 된다. 즉 하중이동이 작은 차량이 전체 코너링 포스가 크다고 할 수 있다

전후 하중 이동량이 다를 때의 스티어 특성

타이어의 코너링 포스를 발생시키는 수직하중에 대해 포화적으로 변화하기 때문에 롤 운동으로 인한 하중이동의 크기가 앞뒤가 다르면 스티어 특성이 변화하게 된다. 만약 《앞바퀴 하중이동량 > 뒷바퀴 하중이동량》이라는 관계가 있다면 스티어 특성은 US 방향으로 변화한다. 반대로 《앞바퀴 하중이동량 < 뒷바퀴 하중이동량》이라면 스티어 특성은 OS 방향으로 변화하게 된다.

좌우 하중이동량은 〈롤 운동에 관한 외력의 작용〉과 〈그에 반발하는 차량의 롤 강성으로 인한 작용〉과 균형 관계에서 정해진다. 이 관계는 주로 앞뒤 롤 센터의 높이, 앞뒤 롤 강성비, 앞뒤 트레드폭으로 결정된다. 자세한 설명은 여기서는 생략하지만 롤 센터 높이는 타이어가 발생시키는 횡력으로 인한 모먼트에 관계하여 롤 강성비는 외력으로 인한 모먼트를 받는 앞뒤 배분에 관계하며, 트레드는 하중이동으로 인한 모먼트에 관계한다. 위와 같은 과계에서 하중이동량이 정해지며 롤 운동으로 인한 스티어 특성에 미치는 영향이 명확해지지만 결론만 말하자면 표 2-6-1과 같다.

표 2-5-1 서스펜션 튜닝과 스티어 특성의 변화

	US 방향	OS 방향
롤센터 앞바퀴	고	저
롤센터 뒷바퀴	저	고
롤 강성비	대	소
트레드 앞	소	대
트레드 뒤	대	소

그림 2-5-4

앞바퀴 롤센터를 높이거나 뒷바퀴 롤센터를 낮추면 언더스티어 성향이 강해진다

프론트의 롤 강성배분을 키우면 언더스티어 성향이 강해진다

앞바퀴 트레드를 좁히거나 뒷바퀴 트레드를 넓히면 언더스티어 성향이 강해진다

2-6 스프링 상중량과 스프링 하중량의 진동

▶ 서스펜션 튜닝의 진동 특성

자동차의 상하 진동은 승차감이나 타이어 접지성에 영향을 미치는 중요한 문제다. 큰 차체의 진동은 승차감을 악화시킬 뿐 아니라 타이어 접지면을 떨어뜨려 그립을 잃는 원인이 되기도 하므로 스프링과 댐퍼를 잘 세팅하지 않으면 안된다. 여기에서는 서스펜션 튜닝에서 알아야 할 자동차의 수직 진동의 특징을 소개한다.

진동 모드

스프링 상중량은 서스펜션에 의해서 지지되는 무게이며 스프링 하중량은 서스펜션과 타이어의 무게이다. 여기에서는 스프링 상중량의 바운스 진동과 피칭 진동 그리고 스프링 하중량의 상하 진동을 알아본다.

차량의 진동현상을 더욱 간결하게 이해하기 위해 그림 2-6-1처럼 앞뒤 두 바퀴가 차체를 받치고 있는 모델을 사용하여 생각해 보자. 이 진동 모델에서 움직일 수 있는 방향은, 스프링 상중량은 전후 모두 상하방향으로 한 방향씩(합계 2방향), 앞뒤 스프링 하중량도 상하방향으로 한 방향씩(합계 2방향), 모두 네 방향이므로 고유 진동수는 4개가 된다. 1차 공진은 앞뒤 스프링 상중량이 같은 방향으로 진동(앞바퀴가 늘어날 때 뒷바퀴도 함께 늘어나고 앞바퀴가 줄어들 때 뒷바퀴도 줄어든다)함으로서 일어나는 바운스 공진, 2차 공진은 앞뒤 스프링 상중량이 반대방향으로 진동(앞바퀴가 늘어날 때 뒷바퀴는 줄어들고 앞바퀴가 줄어들 때 뒷바퀴는 늘어난다)함으로서 일어나는 피칭 공진, 3차와 4차는 스프링 하중량(타이어)의 공명이다.

그림 2-6-1 앞뒤 2륜으로 차체를 받치고 있는 상하진동 모델. 움직일 수 있는 부분이 4개 있다.

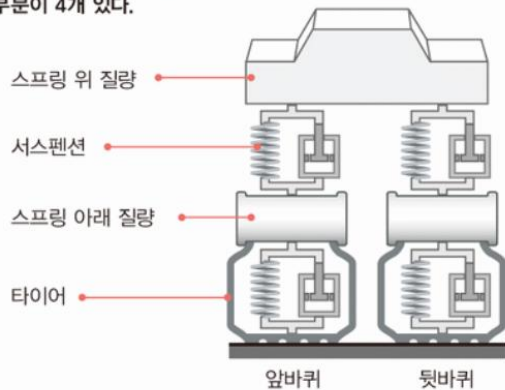



그림 2-6-2 자동차의 진동 모드

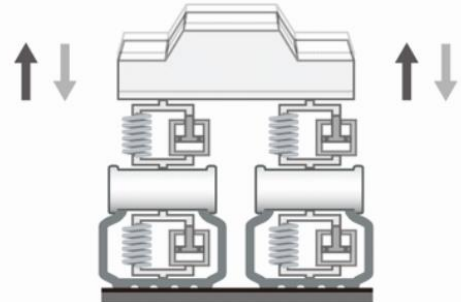
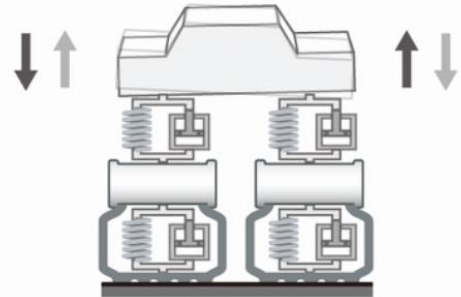
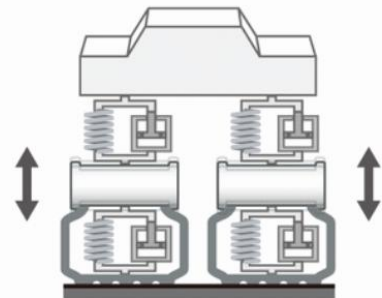
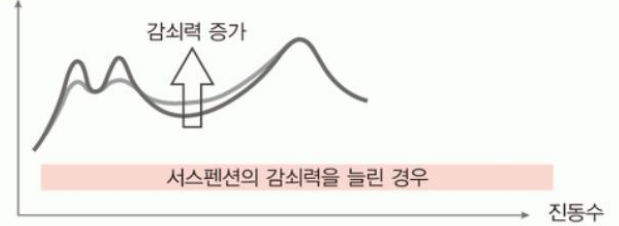
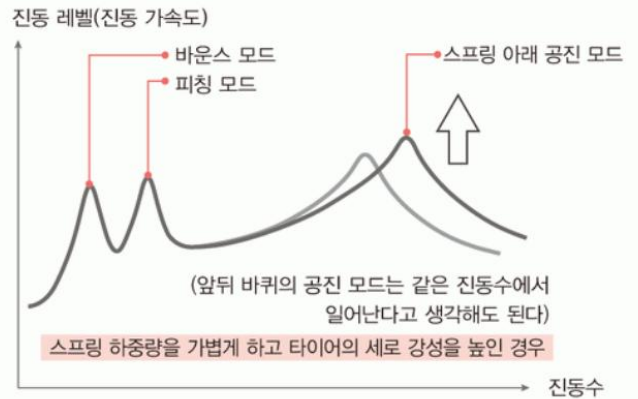
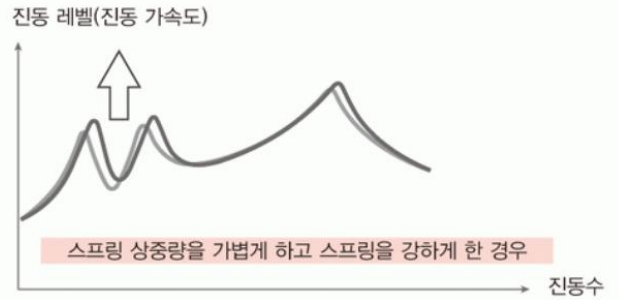
1차 공진: 바운스 모드. 앞뒤 서스펜션이 같은 방향으로 신축하므로 차체에는 바운싱이 일어난다

2차 공진: 피칭 모드. 앞뒤 서스펜션이 각각 반대 방향으로 신축하므로 차체에는 피칭이 일어난다

3차 공진과 4차 공진: 스프링 공진 모드

그림 2-6-3 서스펜션 제원의 상하진동에 대한 영향

진동 레벨(진동 가속도)
감쇠력 증가
서스펜션의 감쇠력을 늘린 경우
진동수

서스펜션 튜닝에 의한 진동 모드의 변화

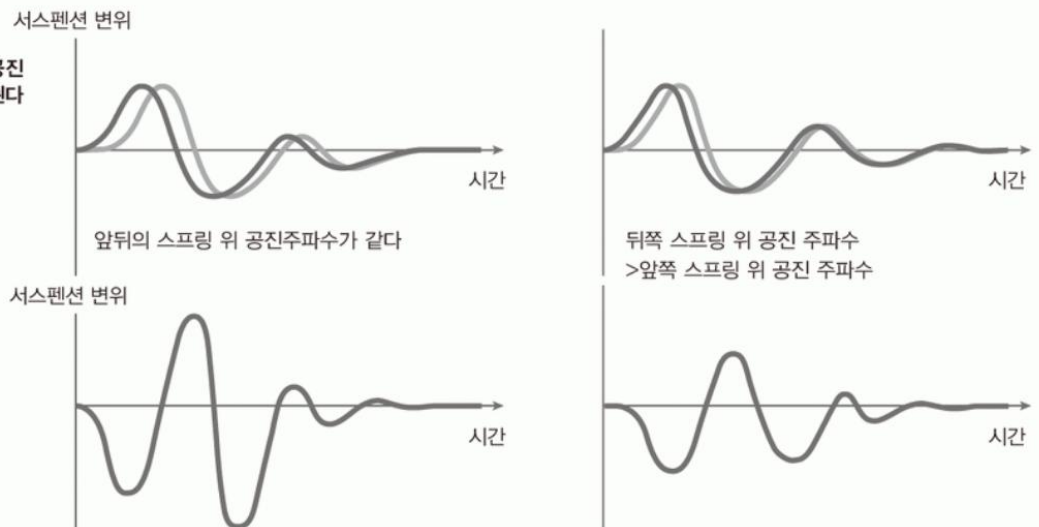
차체의 진동은 타이어의 접지성과 승차감을 악화시키므로 공진은 최대한 줄여야 한다. 또 스프링 상중량의 진동은 차체의 공력성능에도 영향을 주기 때문에 특히 레이싱카에 있어서는 중요한 문제이다.

스프링 상중량과 스프링 하중량의 상하 진동에는 다음과 같은 성질이 있으므로 기억해두면 서스펜션을 튜닝할 때 도움이 된다.

1. **댐퍼 감쇠력을 강화하면 스프링 상중량의 공진주파수 부근에서의 진동을 억제하는 효과는 크지만 공진점 밖의 영역에서 진동은 증가한다. (그림 2-6-3 위)**
2. **댐퍼 감쇠력을 높이면 스프링 상중량의 공진주파스가 조금 높아진다. (그림 2-6-3 위)**
3. **스프링 상중량이나 스프링의 탄성을 변경하면 스프링 위쪽의 공진은 크게 변화하지만 스프링 아래쪽 공진은 별로 달라지지 않는다. (그림 2-6-3 중간)**
4. **스프링 하중량이나 타이어의 세로 강성을 변경하면 스프링 아래 공진은 크게 달라지지만 스프링 위쪽 진동은 그다지 변하지 않는다. (그림 2-7-3 아래)**

피칭 억제

직진하고 있을 때 뒷바퀴의 노면입력은 〈휠 베이스/차량속도〉/시간만큼 느려진다. 뒷바퀴 스프링 상진동 주파수를 앞바퀴보다 조금 높게 설정하면 뒷바퀴의 진동 수렴이 앞바퀴 진동 수렴을 따라가 피칭 운동을 제어할 수 있다.

그림 2-6-4

피칭 운동의 억제. 뒤쪽 스프링 위 공진 주파수를 높이는 쪽이 피칭이 억제된다는 점에 주목하자

2-7 운동성능이 좋은 차란?

▶ 차량 운동성능의 핵심은 뒷바퀴에 있다

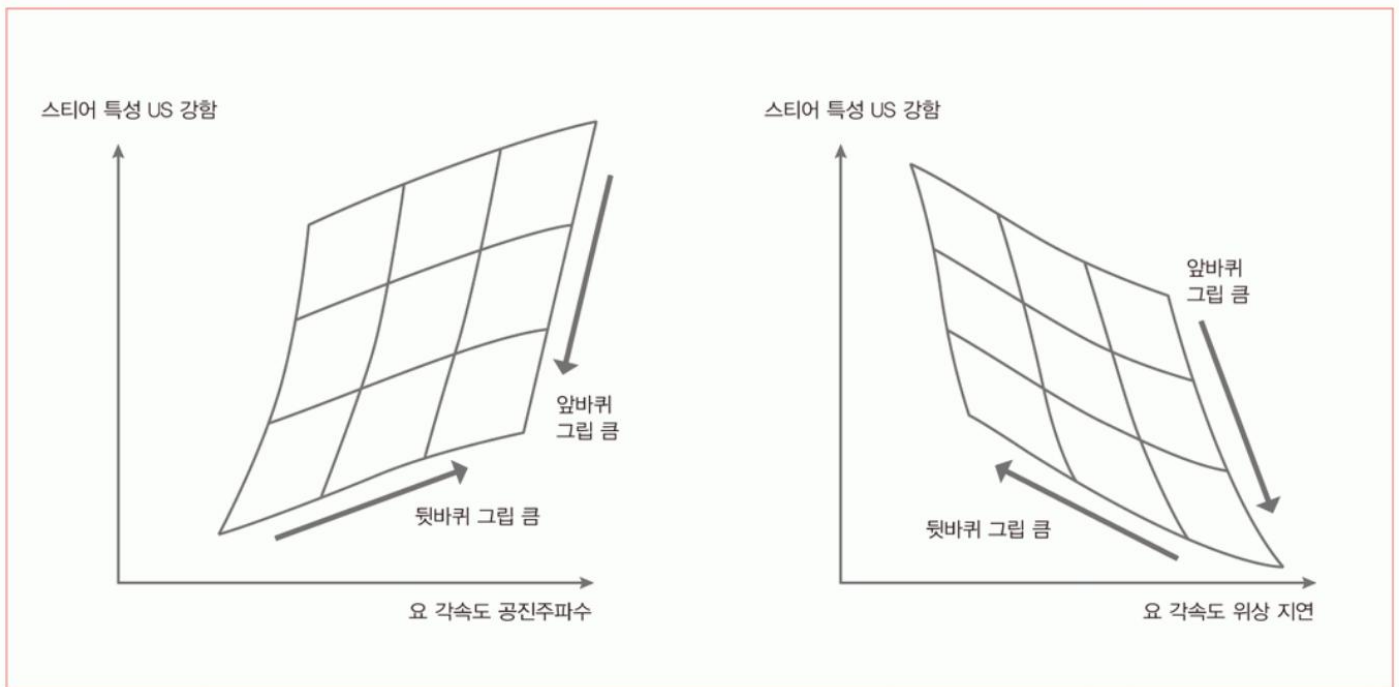
요 각속도의 공진주파수와 스티어 특성

일반적으로 차량의 요 각속도 공진주파수가 높은 차일수록 날카롭게 움직이는 성능 좋은 차라고 생각할 수 있다. 요 각속도의 공진주파수를 높이려면 뒷바퀴 그립을 높이거나 차량중량을 가볍게 하는 방법 등이 있다.

그림 2-7-1는 앞뒤 바퀴의 그립이 차량의 운동성능에 미치는 영향을 비유적으로 나타낸 것이다. 이 그림에서 뒷바퀴의 그립을 높이면 US가 강해지고 요 각속도의 공진주파수가 높아지는 것을 확인 할수 있다. 반대로 앞바퀴 그립이 증가하면 요 가속도의 공진주파수는 낮아져 OS가 강해진다.

위상차에 주목하면 뒷바퀴 그립을 크게 할수록 위상 지연이 줄어들고, 앞바퀴의 그립을 크게 할수록 위상 지연이 커짐을 알 수 있다.

이처럼 뒷바퀴 그립 레벨은 자동차 운동성능에 깊게 관여하고 있다. 따라서 서스펜션 튜닝을 하는 경우 뒷바퀴 그립을 충분히 확보한 뒤 앞뒤 그립 강도를 거기에 맞추어 조절하는 것이 운동성능 향상을 위한 기초적인 방법임을 알 수 있다.

그림 2-7-1 앞뒤 바퀴 그립 레벨과 조타 응답성과 스티어 특성의 관계

TIPS 차량의 요 관성 모먼트를 식으로 나타낼 때 $I=Mk^2$라고 하면, 요 관성반경은 $K=\sqrt{I/M}$로 나타낼 수 있다. 여기서 I는 요 관성 모먼트, m은 차량 질량을 뜻한다.

차량 응답성의 분류 구별

차량의 운동성능의 논의범위는 넓다. 그러나 차량의 운동 자체가 운동방정식(1-1에서 설명한 F=ma)에 위해 수학적으로 다루므로 여기까지 확인한 이론적 취급으로 체계화하기 쉽다. 여기서 횡가속도와 조타 주파수에 따라 차량 운동 특성을 분류하여 정리하면 그림 2-7-2과 같이 나타난다. 여기에서는 ②방정선회성과 ③선형범위에서 응답성을 중심으로 보아왔다. 선형범위란 주로 어떠한 주행상태에서도 코너링 파워가 일정하다고 가정한 경우라고 생각하면 좋다. 반대로 ④비선형범위에서 응답성은 주로 코너링 파워가 포화하는 범위의 주행이며 레이싱카에서는 이 영역에서의 성능이 특히 중요하다. 특히 비선형범위라고 해도 기본적으로 지금까지 보아온 선형범위 특성이며, 앞뒤 바퀴의 코너링 포스의 조화와 앞뒤 바퀴의 모먼트의 균형등을 적절히 생가하면 선형범위에 적용하여 다룰 수 있는 경우가 많다. 또한 ⑤한계특성인 영역은 원점에서 멀수록 좋다고 말할 수 있다.

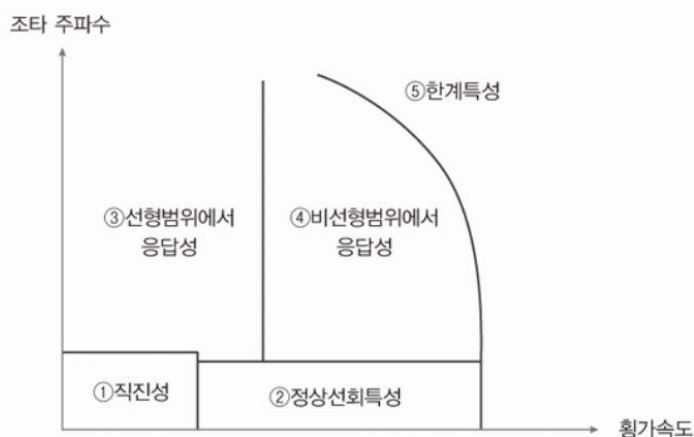
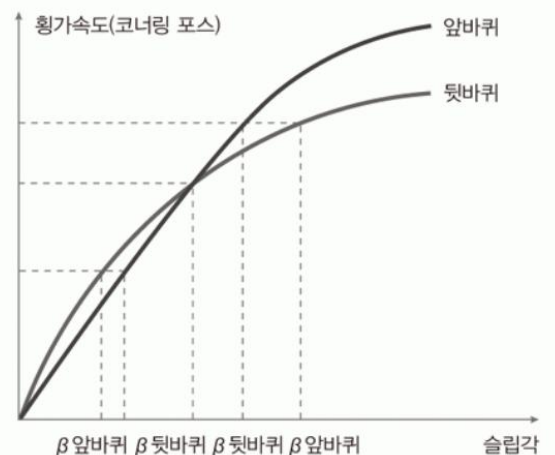
그림 2-7-2 차량 운동성능의 분류

TIPS 비선형범위 차량의 운동의 전형적인 예가 리버스 스티어이다. 1-2에 있어서 정상원선회하는 차량은 앞뒤 슬립각의 대소관계에서 스티어 특성을 판단할 수 있다고 설명했다.
그림 2-7-3과 같은 특성을 나타내는 차량에 사용하여 리버스 스티어란 어떤 것인지를 생각해 보기로 하자. 이러한 차량이 정상원선회를 할 경우, 횡가속도가 낮을 때는 앞바퀴 슬립각이 크고 US 특성을 나타내는 차량임을 알 수 있다. 하지만 횡가속도가 커짐에 따라 균형을 이루기 위해 타이어는 큰 힘을 발생해야만 하기 때문에 슬립각이 커지고, 코너링 포스가 포화영역에 돌입한다. 그때 어느 정도 횡가속도가 커진 지점에서 뒷바퀴 슬립각이 커지며 OS 특성을 나타내는 차량이 되어, 거동이 불안정해진다. 이 예처럼 횡가속도에 따라 스티어 특성이 역전하는 특성을 리버스 스티어라고 한다.

그림 2-7-3

3-1 온도와 압력

▶ 온도와 압력의 정체는 분자의 운동이다

현재에는 열과 온도, 압력이 분자의 운동임이 널리 알려져 있다. 그러나 이 가설이 유력해진 것은 19세기 후반으로, 그것이 옳음이 완전히 인정받은 것은 20세기에 들어와서이다.

엔진 등의 기계의 효율과 에너지 손실, 뒤에서 이야기할 공기역학(유체역학)을 바르게 이해하기 위해서는 온도와 압력에 관한 분자의 움직임을 알아두는 것이 좋다. 여기서는 이에 대해 설명하겠다.

밀폐공간 내를 무질서하게 날아다니는 분자의 모습

한 용기에 갇힌 기체를 생각해 보자. 거시적인 인간의 시점에서 보면 이 용기 안의 기체에는 온도와 압력이 균일한 상태이다. 이러한 상태를 평형상태라고 한다.

그러나 분자의 움직임을 관측할 수 있을 정도의 미시적인 시점에서 용기의 안을 관측하면, 무수히 많은 기체분자가 무질서하게 날아다니고 있음을 알 수 있다. 어떤 분자는 매우 천천히 돌아다니며, 다른 분자는 매우 빠른 속도로 돌아다닌다. 그리고 그러한 분자끼리 서로 충돌하며 때때로 용기의 벽에도 충돌하여 속도가 변화한다.

그림 3-1-1 평형상태인 용기 내의 기체

온도란 분자 한 개당 평균 운동 에너지이다

용기 안에는 다양한 속도를 가진 기체분자가 무수히 존재한다. 이것을 에너지 면에서 보자면 용기 안에는 다양한 운동 에너지를 가진 기체분자가 무수히 존재하고 있다고 할 수 있다. 사실 온도란 이처럼 무질서하게 돌아다니는 분자 한 개당 평균 에너지에 해당하는 양이다. 수학으로 표현하면 다음과 같다.

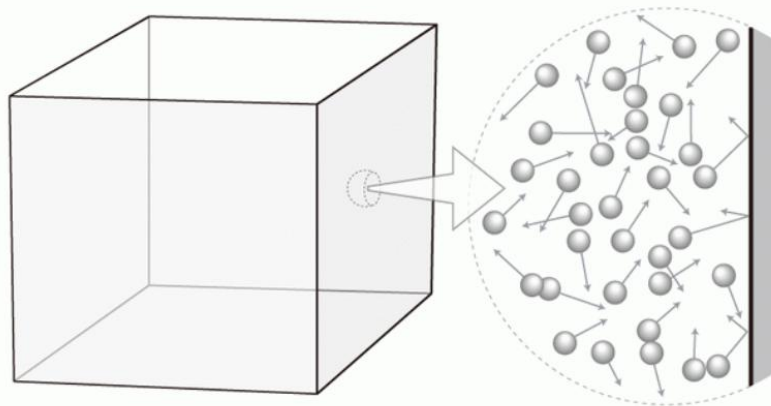



그림 3-1-2 볼츠만 상수가 역학 양과 열역학 양을 잇는다

분자 한 개당 평균 운동 에너지= 3/2 kT

여기서 T는 절대온도, k는 볼츠만상수로 불리는 기체의 온도, 밀도, 압력, 양, 종류에 상관하지 않는 비례정수이다. 이 수식에서 분자 하나당 평균운동 에너지라는 역학적인 양과 온도라는 열적인 양이 같이 들어있지만, 볼츠만 상수만이 이러한 역학적인 양과 열적인 양을 잇는 중요한 역할을 수행하고 있다.

압력은 날아다니는 분자의 충돌력의 평균값

다시 한 번 그림 3-1-1을 보자. 용기의 벽에는 기체 분자가 끊임없이 충돌하고 있다. 이것들을 속도가 빠른 분자라고 한다면 느린 분자도 있을 것이고, 벽에 수직으로 충돌하는 분자도 있을 것이며 비스듬히 충돌하는 분자도 있을 것이다. 따라서 하나하나의 분자의 충돌력은 모두 다르다.

그러나 사실 우리가 압력으로 관찰하는 것은 이처럼 돌아다니는 무수한 분자의 무질서한 운동에 의한 충돌력의 평균치이다. 여기서 중요한 것은 평형상태에서 이러한 분자 충돌력의 평균치는 어떠한 방향에서 계측하여도 같은 값이며 계측하는 방향에 따라 계측된 압력이 다르지 않다는 것이다. 즉 용기 안에 무수히 많은 기체 분자는 완전히 무질서하게 돌아다니고 있지만, 거시적인 시점에서 보면 결국 그 충돌력은 어떤 방향에서도 균등하게 발휘된다는 것이다.

그림 3-1-3 압력이란 무수한 분자의 무질서한 운동으로 인한 충돌력의 평균치이다

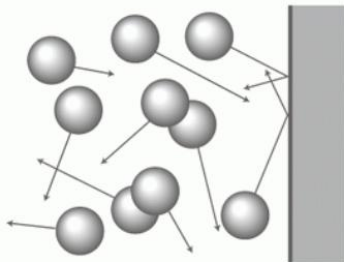
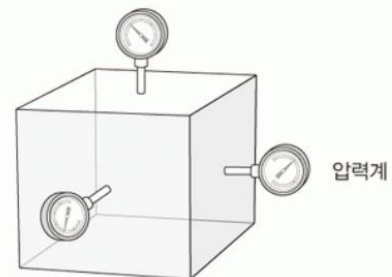



그림 3-1-4 균형상태에서 압력은 어떤 방향에서 재더라도 같은 값을 나타낸다

3 2 이상적인 열기관

▶ 불필요한 열의 이동이 전혀 없는 카르노 사이클

엔진은 열에너지에서 인간에게 유익한 형태의 역학적 에너지를 뽑아내는 기관이다. 열에너지를 변환할 때 그 변환효율은 어떻게 결정될까. 이 문제의 탐구에 실질적으로 첫 발을 내딛었던 것은 프랑스의 사디 카르노였다. 19세기 초, 카르노는 효율 최대의 이상적인 열기관이 어떤 것이며 그 효율은 무엇으로 결정되는지 정교한 논법으로 밝혀냈다. 그가 도출한 결론은 이후열기관을 개발에 있어서 중요한 지침이 되었다.

니콜라 레오나르 사디 카르노 (1796-1832)

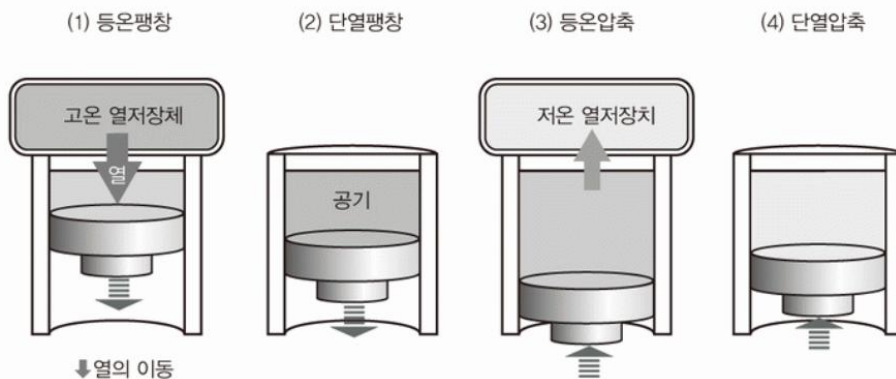
카르노가 주목한 두 가지 사실

카르노는 이상적인 열기관이란 어떤 것인지를 생각하면서 두 가지 열의 성질에 주목했다.

첫 번째는 열기관이 일을 하기 위해서는 온도의 차이를 필요로 한다는 사실이다. 온도차가 없다면 열의 이동은 일어나지 않으며 열기관에게 일을 시킬 수 없게 된다. 하지만 만약 일을 하는데 의미 없는 온도차가 열기관 내에 존재한다면 그 온도차이 이동할 뿐인 일로는 전환할 수 없는 헛된 열의 이동이 일어나게 된다는 말이다. 따라서 카르노는 일을 수행하기 위해서는 열의 이동을 온도차에 의존하지 않는 열기관만이 효율이 좋은 열기관이라고 생각했다.

두 번째는 물체의 부피이나 모양의 변화가 일어난다면 거기에 설사 온도차가 없다고 해도 열은 이동할 수 있다는 사실이다.

카르노는 이런 기본적인 고찰 위에서 사고실험을 통해 온도차에 의한 불필요한 열이동이 일어나지 않는 획기적인 열 사이클을 고안해 냈다.

그림 3-2-1 카르노 사이클의 행정

카르노 사이클

카르노는 열의 본질을 보다 확실히 이해할 수 있도록 고온과 저온인 열저장체와 공기를 담은 실린더와 피스톤의 공기 엔진을 구상했다. 그리고 실린더를 열저장체에 접촉시켜 그 때의 열의 이동을 고찰하며 이상적인 열 사이클을 고안했다. 그가 제안한 열 사이클은 그림 3-2-1, 3-2-2와 같은 것이다.

(1) 실린더를 고온의 열저장체에 접촉시켜 열을 저장체에서 실린더 안의 공기로 옮겨 공기를 팽창시킨다. 단, 여기에서 온도차가 발생해서는 안되므로 공기는 열저장체와 같은 온도를 유지해야만 한다. 또 공기 자체 속에서도 온도차가 있어서는 안된다. 이를 위해 공기는 매우 느린 속도로 서서히 팽창시켜야 한다. 이렇게 일정한 온도로 기체를 팽창시키거나 반대로 압축하는 것을 등온변화이다.

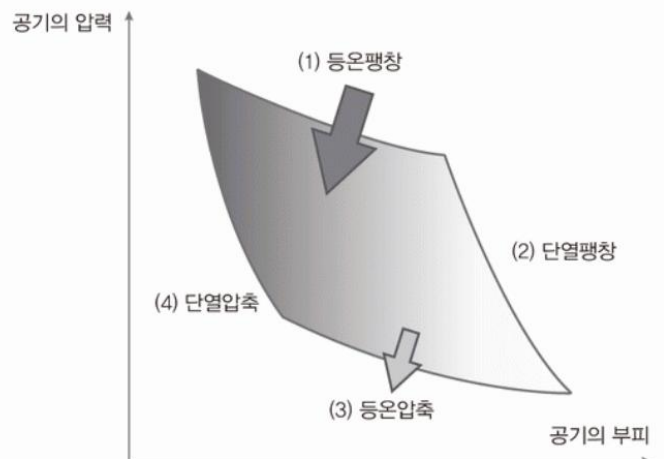
(2) 이렇게 팽창시킨 실린더를 저온의 열저장체에 접촉시켜야 하는데 아무래도 거기에는 온도차가 생길 수밖에 없다. 그래서 카르노는 열의 이동 없이도 기체를 압축하면 온도는 올라가고 거꾸로 열이동이 없어도 기체를 팽창시키면 온도가 떨어진다는, 단열변화로 불리는 현상을 이용했다. 즉 고온의 열저장체에 의해 팽창시킨 기체를 단열변화에 따라 더욱 팽창시켜 열의 이동 없이 기체 온도를 낮추면 된다는 사실을 알아차린 것이다. 다만 이 과정에서도 피스톤을 아주 천천히 움직여야만 한다.

(3) 공기의 온도가 저온의 열저장체와 같은 온도까지 내려가면 실린더를 저온 열저장체와 접촉시킴으로서 기체 속의 열을 저온의 열저장체로 이동시키면서 기체를 압축하다. 마찬가지로 이 때도 온도차가 생기면 안되니 등온변화로 아주 천천히 열을 이동시킨다.

(4) 등온변화가 끝나면 이번에는 단열변화에 의해 공기를 압축해서 온도를 올린다. 그리고 고온의 열저장체와 같은 온도가 될 때까지 압축하면 다시 (1)의 등온팽창을 시키고 같은 과정을 반복한다.

위와 같은 (1) 고온 열저장체에서의 등온팽창 (2) 단열팽창과 그에 의한 온도 저하 (3) 저온 열저창제에서의 등온압축 (4) 단열압축과 그에 의한 온도 상승이라는 네 과정을 한 바퀴 돌면 실린더 안의 공기는 처음과 똑같은 상태로 돌아가 쓸데없는 열의 이동을 전혀 일으키지 않으면서 열을 일로 변환시킨다. 이 열 사이클은 고안자인 카르노의 이름을 따 카르노 사이클로 명명되었다.

카르노가 사망후 약 50년 후, 가솔린 엔진을 실은 최초의 자동차가 탄생한다. 사진은 카를 벤츠가 만든 삼륜자동차.

그림 3-2-2 카르노 사이클에서의 공기의 압력과 부피의 변화

3-3 카르노의 결론

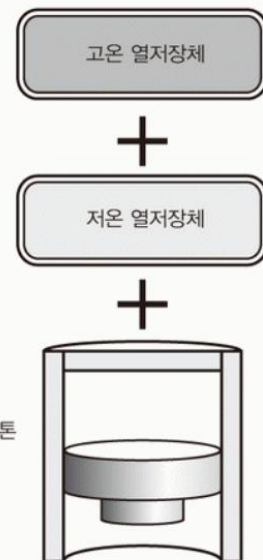
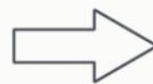
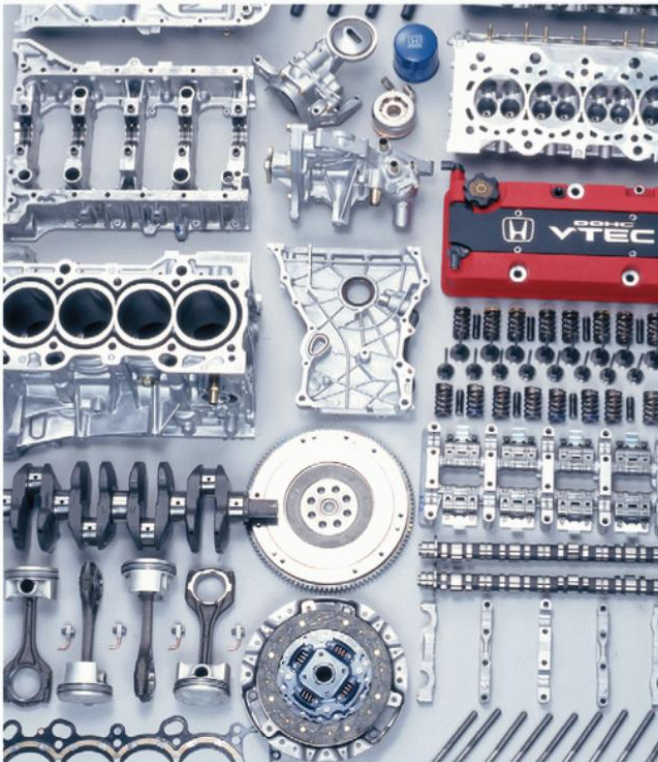
▶ 경악할 정도의 열기관을 추상화

카르노 사이클의 이론효율

카르노 사이클이 열기관의 최고효율을 실현하는 열 사이클임은 직관적으로 이해할 수 있을 것으로 믿는다. 그러나 카르노가 탁월한 점은 앞으로 간략히 다룰 교묘한 논법을 사용하여 실린더 내에서 온도차가 있는 물체끼리 접촉이 전혀 없는 열 사이클을 고안하여, 이것이 최고효율의 열기관이며 그것을 넘는 열기관은 존재하지 않음을 이론적으로 증명한 것이다.

더욱이 놀라운 점은 카르노는 이 열사이클의 이론효율은 고온 열저장체와 저온 열저장체만으로 결정된다고 결론을 내렸다. 카르노 자신이 이러한 이론을 수식화할 수는 없었지만 앞으로 영국의 윌리엄 톰슨에 의해 다음과 같이 수학적으로 표현되었다.

$$\text{카르노 사이클의 이론효율} = 1 - \frac{\text{저온 열저장체의 절대온도}}{\text{고온 열저장체의 절대온도}}$$

그림 3-3-1 카르노는 다수 요소로 성립하는 복잡한 열기관에서 열과 동력에 관한 본질적인 부분만을 적합하게 뽑아내 열기관을 추상화했다

열기관의 궁극적 추상화

카르노 사이클의 이론효율은 열저장체의 온도만으로 결정된다고 결론지었지만 카르노가 도출한 결론은 한층 더 획기적인 사실을 밝혔다. 그것은 카르노 사이클의 이론효율은 앞서 말한 수식대로 고온과 저온의 열저장체의 온도만으로 결정되며, 기관의 구체적인 구조와 공기나 수증기와 같은 작업물질의 특성과는 전혀 관계없다. 즉, 카르노 사이클의 이론효율은 해당 기관의 만들어진 방식과는 관계가 없으며, 자연적인 성질에 의해 결정된다는 경악할만한 사실이 밝혀진 것이다.

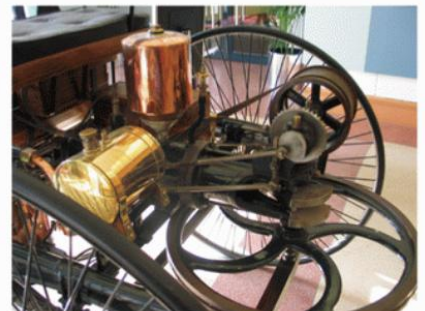
위처럼 카르노가 열기관이라는 다수요소로 이루어지는 복잡한 기계장치에서 열과 동력의 본질적인 부분만을 정확하게 뽑아내 열기관을 추상화한 것은 대서특필할만한 것이다. 불필요한 군더더기가 전혀 없으며 필요한 것은 하나도 빠뜨리지 않은 궁극의 추상화라고 할 수 있다.

TIPS 카르노는 1824년 「불의 운동에 관한 성찰」이라는 제목의 기술논문을 발표하여 여기서 카르노 사이클에 대해 서술했다. 이 논문을 쓰게 된 동기는 증기기관 개량이라는 공학적인 화도에서 비롯됐다. 당시 증기기관은 폭넓게 사용되고 있었으며 개량을 거듭하여 이 논문이 발표되기 5년 전에는 증기선이 대서양을 횡단하는 데 성공했다. 그러나 증기기관에 관한 과학적이론은 거의 생각되지 않은 상태였고, 기관을 개량하는 시도는 기술자의 경험과 감에 의존하는 경우가 매우 많았다. 여기서 카르노는 기술을 구조와 메커니즘, 작업물질 등에 관계 없는 자연 본성에 닮은 열기관의 특성이란 무엇인지 탐구하기로 한 것이다. 그러나 발표된 카르노의 〈성찰〉은 그 중요성을 즉시 인정받지는 못했다. 불행이 겹쳐 1832년 그는 콜레라 유행을 연구를 하는 도중, 자신이 콜레라에 걸려 그 후 몇 시간 지나지 않아 36세의 젊은 나이로 사망한다. 콜레라의 희생자가 나오면 일반적인 처치법으로 그의 연구성과와 저서의 대부분 본인의 사망과 동시에 파기되어 버렸다. 그러나 그의 사망과 에코르 폴리테크닉 시대 동급생 클라페이론에 의하여 카르노의 〈성찰〉이 보강되어 세간에 알려지게 되었다. 이로 인해 열역학과 통계역학이라는 물리학의 새로운 분야를 개척하고 구축한 커다란 공헌을 하게 되었다.

RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
ET
SUR LES MACHINES
PROPRES A DÉVELOPPER CETTE PUISSANCE.
Par S. CARNOT,
A PARIS,
CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,

TIPS 절대온도를 이론적으로 정의한 것은 카르노 사이클의 이론효율을 수식화한 톰슨이다. 그는 카르노 사이클의 이론효율을 도출하는 과정에서 절대온도를 이론적으로 정의했다.

고트립 다임러가 1886년 제작한 4륜자동차

다임러 4륜자동차에 실은 가솔린 엔진. 배기량은 462cc, 680rpm에서 1.1ps를 만들었다.

앞서 실었던 카를 벤츠의 3륜자동차의 엔진 부분. 다임러의 엔진이 실린더를 세로로 배치한 것에 비해 이 차에서는 가로로 배치되었다. 배기량은 984cc, 400rpm으로 0.96를 만들었다

3-4 자동차 엔진 이론적인 효율

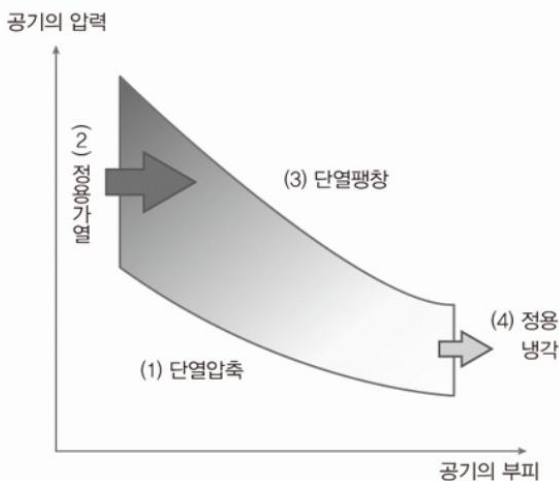
▶ 오토 사이클, 디젤 사이클의 이론효율이란

오토 사이클의 이론효율

이상적인 열기관에 대해서 알아보았으니, 일반적인 자동차 엔진에 눈을 돌려 보자.

현재의 휘발유 엔진은 니콜라우스 오토가 고안한 4 스트로크 사이클인 오토 사이클 엔진이 기본이다. 오토 사이클은 (1)단열압축 (2)정용가열 (3)단열팽창 (4)정용냉각이라는 4개의 과정으로 이루어진다. 정적가열, 정적냉각은 실린더의 용적을 변화시키지 않은 채 실린더 안의 작업 물질을 가열, 냉각하는 것이다.

카르노 사이클과 마찬가지로 고온, 저온의 열저장체로 작동하는 공기 엔진에서 매우 천천히 피스톤을 움직이면 오토 사이클의 최대 효율이 어떻게 달성되는지 알 수 있다. 그러나 오토 사이클에서는 (2)와 (4)의 정적과정에서의 온도차가 불가피하다. 온도차가 없으면 고온의 열저장체에서 공기로 혹은 공기에서 저온 열저장체로 열의 이동이 일어나지 않기 때문이다. 이 열의 이동만큼 카르노 사이클보다 효율은 떨어진다.

그림 3-4-2 오토 사이클에서의 공기의 압력과 부피의 변화

오토 사이클의 이론열효율은

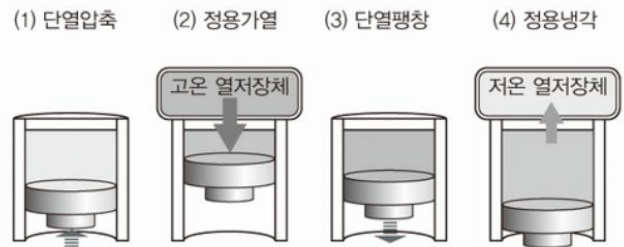
$$\text{오토 사이클의 이론효율} = 1 - \frac{1}{\text{압축비}^{\text{비열비}-1}}$$

위와 같은 식으로 표현할 수 있다. 이 식을 보면 알 수 있듯이 아쉽게도 오토 사이클의 이론효율은 카르노 사이클과 달리 압축비와 비열비라는 엔진 구성과 작업물질의 특성과 관계가 있다. 그러나 그러한 메커니즘으로 압축을 실행할 것인가, 구체적으로 어떤 작업물질을 사용할 것인가의 제한은 전혀 없다. 다수의 요소에서 만들어지는 복잡한 기구를 가진 엔진이 압축비와 비열비라는 단 두 가지의 양으로 그 이론효율을 결정할 수 있는 것이다.

그림 3-4-1 오토 사이클의 행정

(1) 단열압축 (2) 정용가열 (3) 단열팽창 (4) 정용냉각

고온 열저장체

저온 열저장체

오토 사이클의 예, BMW 트윈 파워 터보 V8 가솔린 엔진

TIPS 하이브리드를 비롯한 차량에서 자주 사용되는 앳킨슨 사이클의 열 사이클은 오토 사이클과 같다. 3-7의 TIPS!를 참조하길 바란다.

디젤 사이클의 이론 효율

디젤 사이클은 루돌프 디젤에 의해 고안된 디젤 엔진의 열 사이클이다. 디젤 사이클은 주로 (1)단열압축 (2)정압가열 (3)단열팽창 (4)정용냉각이라는 네 가지 과정으로 이루어진다. 여기서 정압가열은 공기의 압력을 변화시키지 않고 실린더 내의 작업 물질을 가열하는 것이다.

그림 3-4-3 디젤 사이클의 행정

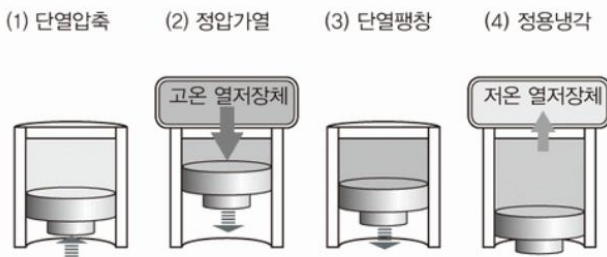
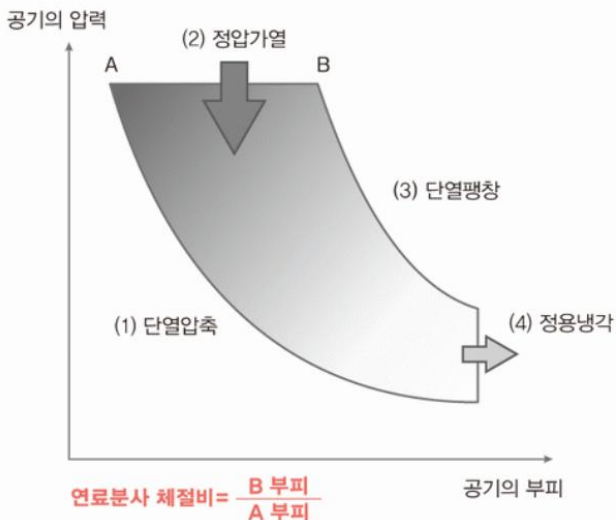



그림 3-4-4 디젤 사이클에서의 공기의 압력과 부피의 변화

디젤의 이론 열효율 공식은

$$\text{디젤 사이클의 이론 효율} = 1 - \frac{1}{\text{압축비}^{\text{비열비}-1}} \cdot \frac{\text{연료분사 체절비}^{\text{비열비}}-1}{\text{비열비}\,(\text{연료분사 체절비}-1)}$$

이것도 압축비, 비열비, 연료분사 체절비라는 단 3개의 양으로 결정된다.

디젤 사이클의 최대 효율을 달성하기 위해서는 여기에서도 모든 과정에서 피스톤을 매우 천천히 움직여야 한다. 그러나 (2)와 (4)의 정압과정에서 열이동이 일어나고 만다. 따라서 디젤 사이클에서도 이 열의 이동만큼 카르노 사이클보다 효율이 떨어진다.

디젤 사이클의 예. 마츠다 2.2 L 디젤 엔진

카르노 사이클, 오토 사이클, 디젤 사이클. 그 어느것으로도 실제로는 이론효율을 달성하는 열기관을 만들 수는 없다. 원래 피스톤이 너무 느리게 움직이면 실질적인 이용가치가 생겨나지 않는다. 또 피스톤이나 실린더는 완전히 단열되는 물질도 아니며 온도차가 만드는 불필요한 열의 이동이 일어나고, 피스톤과 실린더 사이의 마찰도 완전히 없앨 수 없다. 하지만 이론효율을 앎으로써 그 열기관의 본질을 떠올리게 되고, 엔지니어에게 중요한 지침을 줄 수 있다.

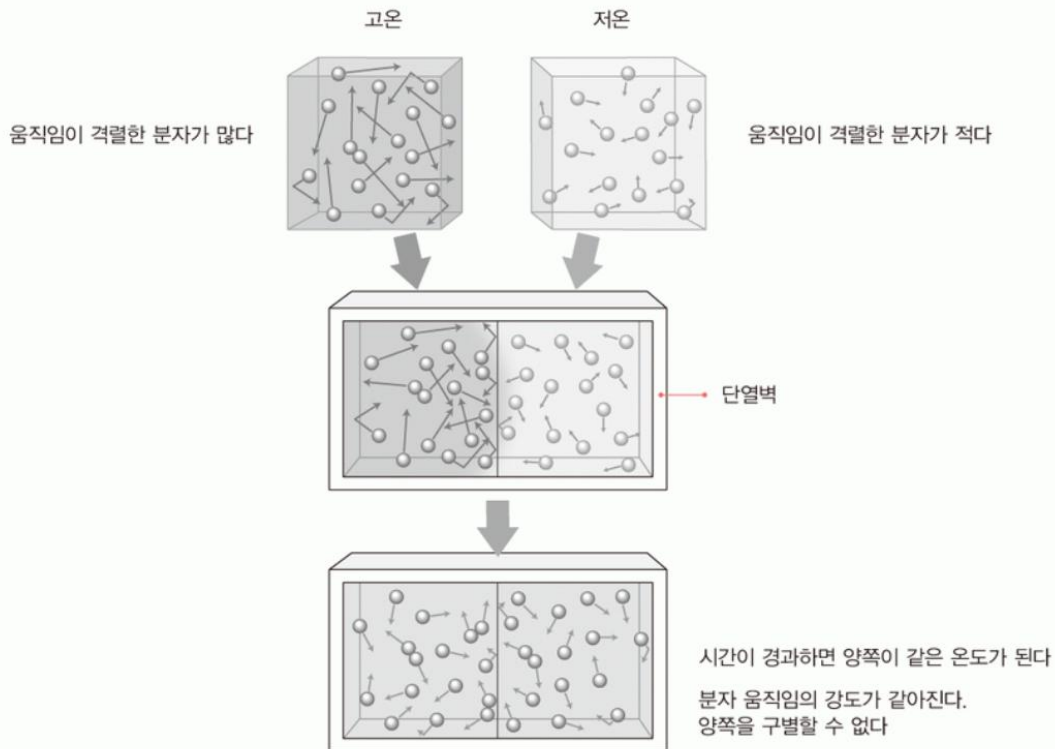
3-5 가역변화와 비가역변화

▶ 자연 변화에는 〈방향〉이 있다

여기서는 지금까지의 이야기한 것을 바탕으로 실제 엔진에서 아무리 해도 생길 수밖에 없는 에너지 손실에 대해 살펴보기로 한다. 다만 구체적인 이야기에 들어가기 전에 한가지 중요한 자연법칙에 대해 해설한다.

자연은 질서에서 무질서로 변화한다

다시 용기에 가둔 기체분자의 운동을 보자. 그런데 이번에는 고온의 기체와 저온의 기체를 가둔 두 그릇을 준비한다. 온도가 다른 이들 용기를 접촉시키면 열이 고온 용기에서 저온 용기로 이동한다. 그대로 방치하면 결국 양쪽 온도가 같아져 열의 이동은 없어지고 평형상태로 자리잡는다. 이것을 미시적 시점에서 보면 처음 상태에서는 고온 용기에는 격렬하게 날아다니는 분자가 비교적 많이 들어있고, 저온 용기에는 격렬하게 날아다니는 분자가 비교적 적었다. 그들 용기를 접촉시켰을 때 고온 용기 내부의 분자 운동에너지가 저온 용기로 이동해 저온 용기 속 분자의 운동에너지를 증대시킨다. 그리고 양쪽 용기의 분자 1개당 평균 운동에너지(즉 온도)가 같아지는 선에서 운동에너지(열 에너지)의 이동은 없어진다.

그림 3-5-1 온도가 다른 두 개의 용기를 접촉

〈무질서〉에서 〈질서〉로의 변화는 일어나지 않는다

시각을 바꾸어 보자. 이번 예에서는 최초의 높은 운동에너지의 분자와 낮은 운동에너지의 분자가 서로 다른 용기에 나누어져 있으며, 고온 용기 속 분자의 운동과 저온 용기 속 분자의 운동을 구별할 수 있었다. 굳이 말하자면 용기 안의 차이를 판별할 만한 「질서」가 있고, 그 차이를 구별할 만한 정리된 정보가 존재했다. 그러나 평형상태가 된 후는 양자 사이의 차이를 판별할 수 있는 정보는 사라지고 이른바 「무질서」인 상태가 되었다는 것이다.

사실 이렇게 「질서」가 있는 상태에서 「무질서」인 상태로의 변화는 자연에서는 자연스러운 변화이며 그 반대로 「무질서」에서 「질서」로의 변화는 자연스럽게 일어나지 않는다. 예를 들어 고온의 용기와 저온의 용기를 접촉시켰을 때 고온 용기는 식고 저온 용기는 따뜻해지는 것이 자연스러운 변화이지만, 반대로 온도가 다른 두 개의 용기를 접촉할 때 고온 용기가 더 뜨거워지고 저온 용기는 더 차가워지는 현상은 결코 일어나지 않았음을 우리는 경험적으로 알고 있다. 게다가 어떤 방법을 사용해도 평형상태에 있는 2개의 용기를 인공적으로 「완전히 그대로」 원래의 고온과 저온 상태로 되돌릴 수 없음을 우리는 경험적으로 알고 있다. 이처럼 완전히 원상태로 되돌릴 수 없는 변화를 비가역적 변화, 거꾸로 돌릴 수 같은 변화를 가역 변화라고 부른다.

그림 3-5-2 자연에서는 자연스러운 변화의 방향

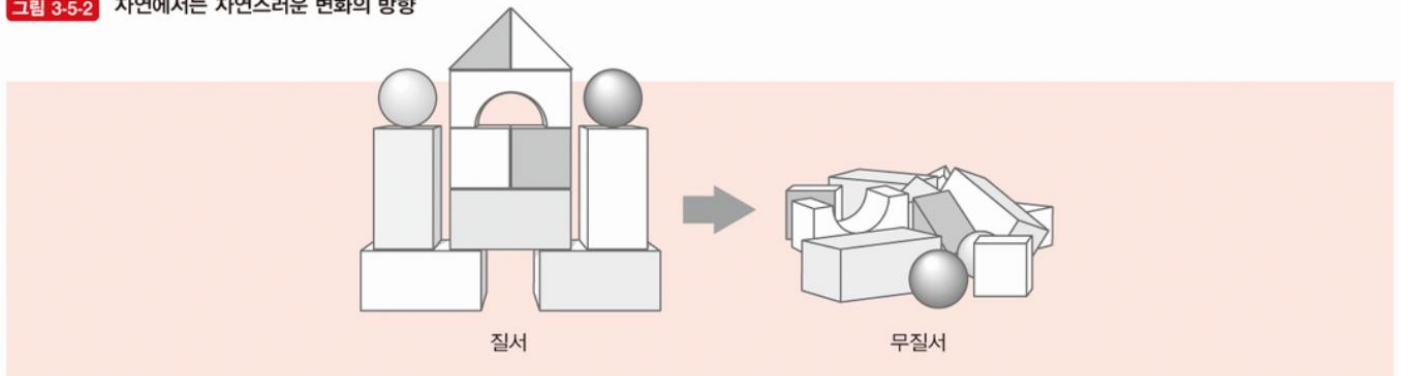
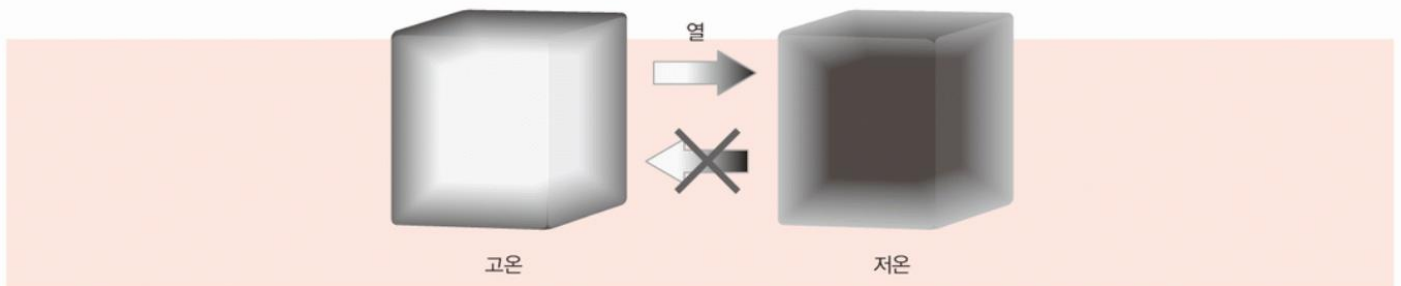



그림 3-5-3 저온에서 고온으로 열의 이동은 결코 일어나지 않는다(※ 엄밀히 말해 저온에서 고온으로 열이 이동할 가능성은 0은 아니지만, 극단적으로 0에 가까우며, 현실적으로 인간이 그러한 현상을 관측할 일은 절대 없다고 할 수 있다) 만약 인위적으로 저온에서 고온으로의 열 이동을 발생시키면, 그것을 시행한 경우 반드시 저온에서 고온으로 열이 이동했다는 어떠한 흔적이 남아 버린다. 따라서 "완전히 그대로" 원래의 고온과 저온 상태로 되돌릴 것은 불가능하다

3-6 열기관을 역회전시킨다

▶ 가역 사이클과 불가역 사이클의 차이

카르노 사이클, 오토 사이클, 디젤 사이클의 이론 효율에 대해 설명했지만 어째서 실제 엔진은 이론 효율을 달성할 수 없을까. 다시 말해 실제 엔진에서는 왜 에너지의 손실이 일어날 수밖에 없을까.

그 해답은 이론 효율의 엔진에서는 피스톤을 아주 느린 속도로 움직여야만 한다는 사실에 숨어 있다.

카르노 사이클의 역행운전은 가역적이다

다시 카르노 사이클로 돌아가 보자. 카르노 사이클을 (1)→(2)→(3)→(4)의 과정으로 이동시킨 〈순행운전〉이라 하고, 반대로 (4)→(3)→(2)→(1) 순서로 이동시킨 경우를 〈역행운전〉이라고 부른다고 하자.

카르노 사이클을 순행운전시켜 일정한 양의 열을 고온 열저장체에서 저온 열저장체로 이동시켜 그 과정에서 발생한 운동을 어딘가에 저장한다고 하자. 이어 그 저장한 운동을 사용하여 카르노 사이클을 역행운전시켜 순해 운전응로 이동시킨 열을 저온 열저장체에서 고온 열저장체로 고스란히 원상태로 되돌린다. 이때 순행운전에서 저장한 운동은 역행운전에 남김없이 사용되어 나중에 아무것도 남기지 않는다. 즉, 카르노 사이클을 순행운전시켜 만들어낸 운동을 저장하여, 그 저장한 운동으로 역행운전을 실행하면 〈완전히 그대로〉인 처음의 상태로 돌아간다. 이것을 카르노 사이클 가운데 온도차가 있는 물체끼리 접촉이 전혀 없어 그로 인한 쓸모없는 열의 이동이 전혀 없기 때문에 달성할 수 있는 것이다. 카르노 사이클은 모든 과정이 가역적이므로 가역적인 역행운전을 할 수 있다.

그림 3-6-1 카르노 사이클의 역행운전

(1) 순행운전

(2) 역행운전

공기의 부피
(1) 등온팽창
(2) 단열팽창
(3) 등온압축
(4) 단열압축
공기의 압력

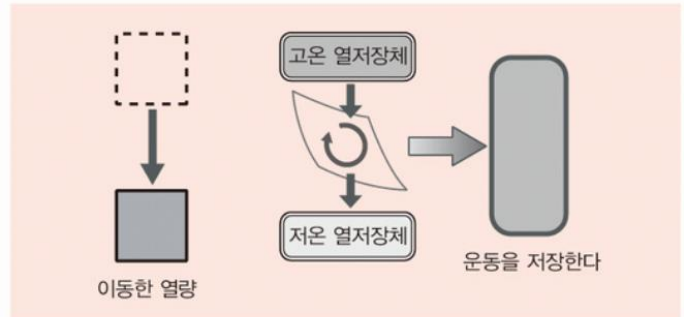
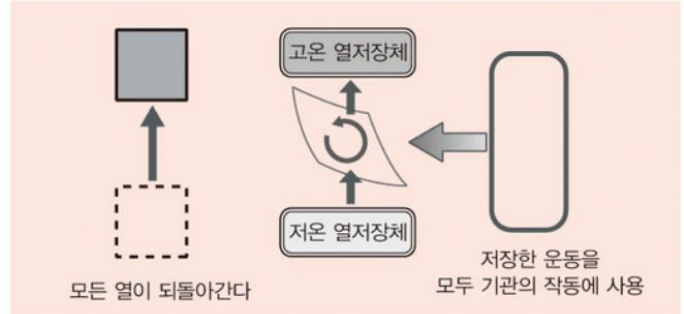
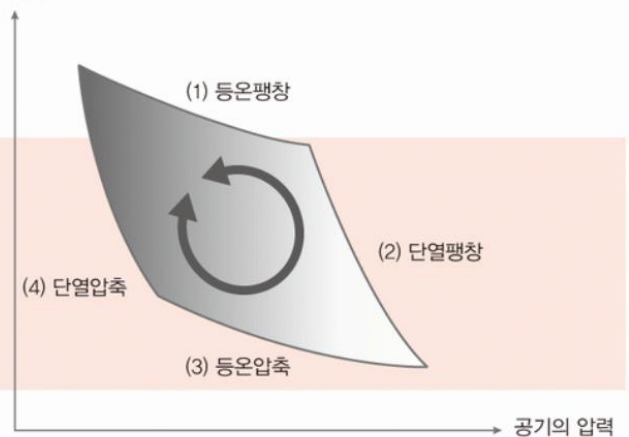



그림 3-6-2 카르노 사이클의 가역성

카르노 사이클은 모든 과정이 가역적이므로 카르노 사이클은 "가역적인" 역행운동을 수행할 수 있다.

자동차 엔진의 역행운전은 비가역적이다

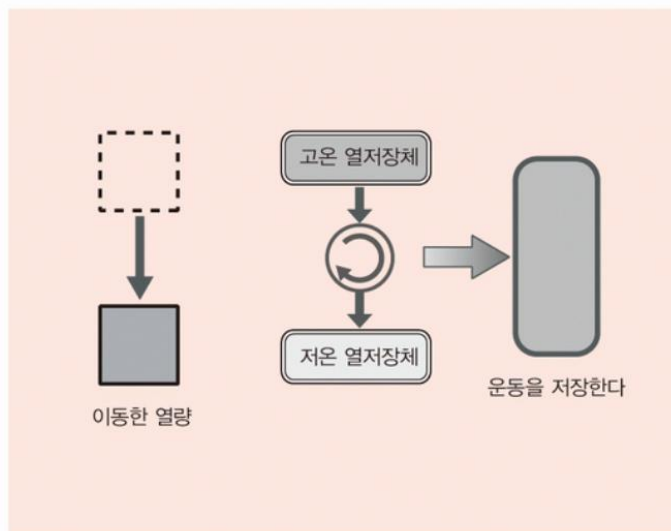
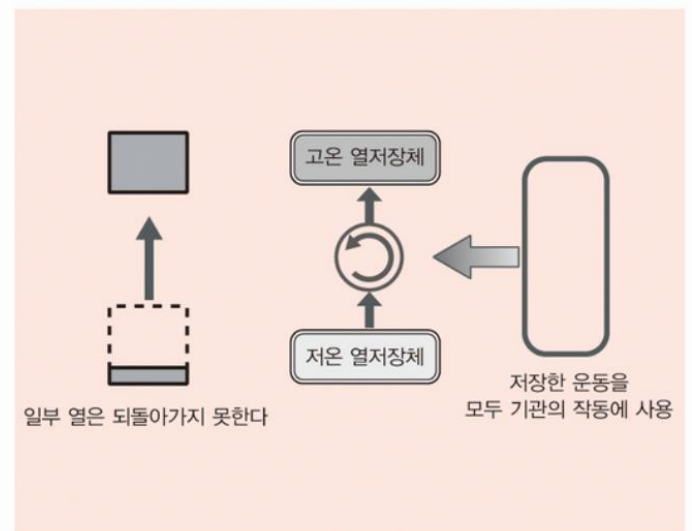
이제는 오토 사이클과 디젤 사이클을 살펴보자. 여기서도 마찬가지로 이 사이클을 순행운전시켜 만들어낸 운동을 어딘가에 저장한 뒤, 저장한 운동을 사용하여 역행운동을 실시해 보자.

순행운전에서 저장한 운동을 모두 사용했다고 해도, 저온 열저장체에서 고온 열저장체로 모든 열을 이동시키는 것을 불가능하며, 일부 열을 원상태로 되돌릴 수 없다. 그 이유는 다음과 같다.

오토 사이클에서는 (2)정용가열과 (4)정용냉각, 디젤 사이클에서는 (2)정압가열과 (4)정압냉각에서 온도차가 필요하다. 이 과정에서는 운동을 만들지 못하며 고온에서 저온으로 열이 이동하기만 하는 쓸모없는 열이 생길 수밖에 없다. 따라서 카르노 사이클에 비해 쓸모없는 열의 이동만큼 순행운전에서 만드는 운동량은 감소한다. 또 역행운전을 실시할 때는 온도차가 어느 정도에서 자연의 법칙을 거슬러 저온에서 고온으로 열을 이동시키기 때문에 잉여 운동량이 필요해진다.

따라서 오토 사이클과 디젤 사이클은 비가역적이라고 할 수 있다. 이것은 중요한 사실을 나타낸다. 열기관이 가역적인 역행운전을 수행할 수 없다는 것은 이러한 사이클에서 운동으로 만들어낼 수 없는 쓸모없는 열의 이동이 일어난다는 증명이라는 것이다. 이에 대해 다음 장에서 구체적으로 보도록 하겠다.

그림 3-6-3 자동차 엔진의 순행과 역행

(1) 순행운전

(2) 역행운전

TIPS

실제로 카르노는 카르노 사이클은 가역적이라는 것을 중심으로 순행운전과 역행운전을 수행하면 뒤에 무엇이 남는지에 착안하여 "카르노 사이클을 넘는 열기관은 존재하지 않는다"는 결론을 논리적으로 도출했다.
카르노는 아무것도 남기지 않는 카르노 사이클은 이상기관이다. 만약 카르노 사이클보다 뛰어난 효율로 작용하는 기관이 있다면, 그것은 영구기관일 것이다. 그러나 그러한 것은 존재하지 않는 것으로 보고, (제 1종) 영구기관의 존재를 부정한 것이다.

37 엔진의 에너지 손실

▶ 에너지 손실의 정체는 비가역적 변화이다

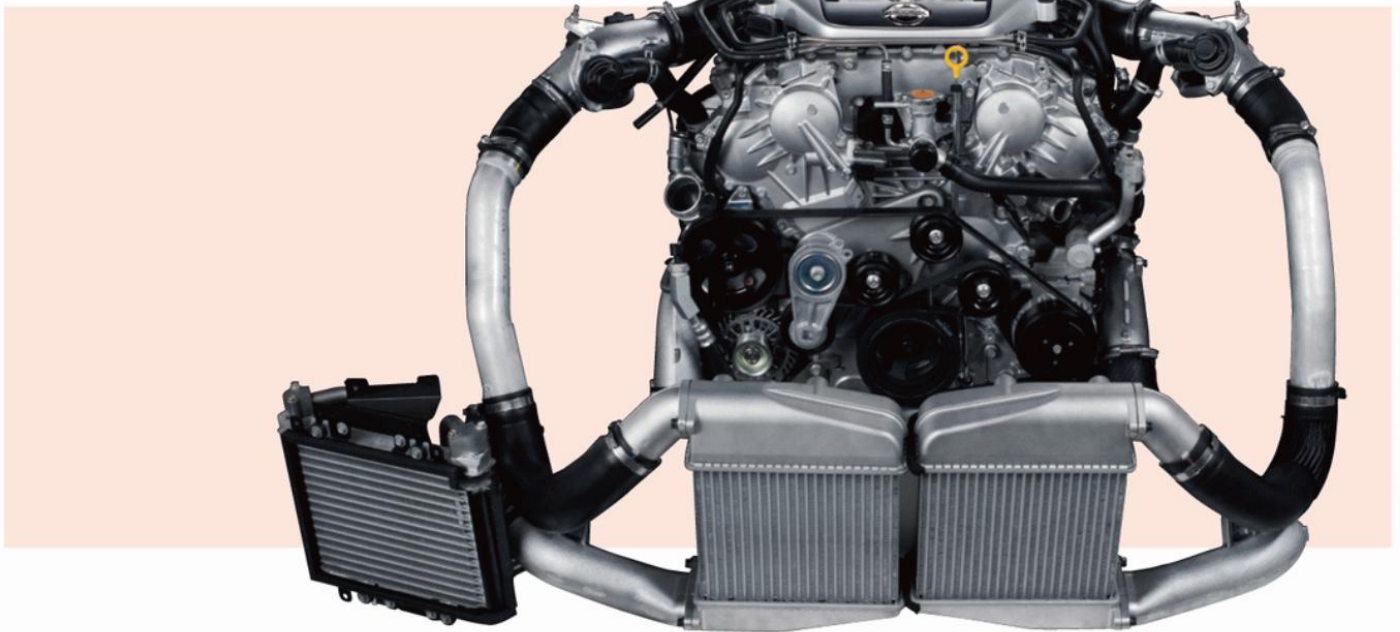
지금까지 열기관의 이론 효율을 설명할 때 〈피스톤을 아주 느린 속도로 움직여야 한다〉고 거듭 강조해 왔는데, 이는 바로 비가역 변화를 일으키지 않기 위함이다. 왜냐하면 비가역 변화가 바로 에너지 손실의 정체이기 때문이다. 이 장에서는 비가역변화가 에너지 손실의 원인임을 구체적으로 증명하도록 하겠다.

엔진의 에너지 손실

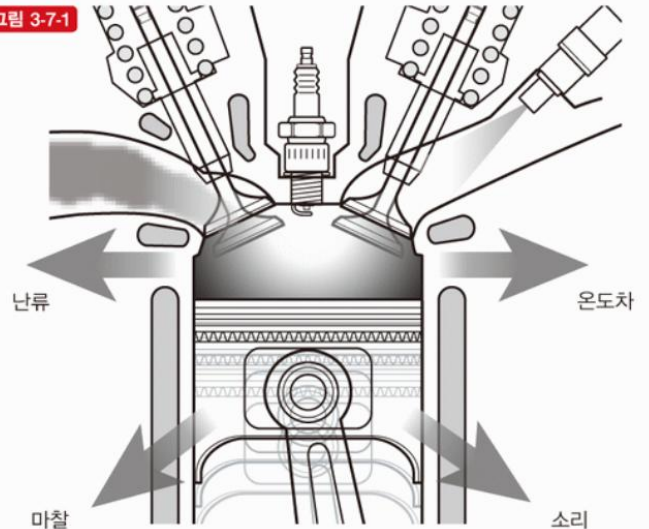
이전 페이지에서 본 것처럼 카르노 사이클은 온도차로 인한 열의 이동이 수반되지 않으므로 가역적인 역행운전이 가능하다. 그러나 오토 사이클이나 디젤 사이클은 온도차로 인한 열의 이동이라는 불가역적인 과정이 이들 사이클 자체에 포함되어 있기 때문에 가역적인 역행운전을 수반할 수는 없다.

지금까지는 비가책화의 예로 운도차로 인한 열의 이동만을 주목했지만, 열기관이 운전하는 과정에 비가역변화로 분류되는 현상이 포함되어 있다면, 이전 페이지에서 본 것 처럼 운동으로 다룰 수 없던 열의 움직임으로, 이용가능한 운동량을 줄이는 것을 의미한다.

실제로 엔진은 실린더 내의 연료의 화학변화를 일으켜서 열을 발생시켜 그 에너지로 피스톤을 움직이는 운동을 한다. 이때 발생한 열은 온도차를 만들고 불필요한 열의 이동이 발생한다. 실린더와 피스톤 사이에서는 마찰을 일으키고, 소음과 난류를 발생시키게 된다. 연료의 화학변화 자체도 비가역변화이다. 이러한 현상은 한번 발생하면 비디오를 역재생하는 것처럼 발생 전의 상태로 완벽하게 돌릴 수는 없는 변화이므로 비가역변화이며 운동으로 다룰 수 없는 불필요한 열의 이동이 발생하게 된다.

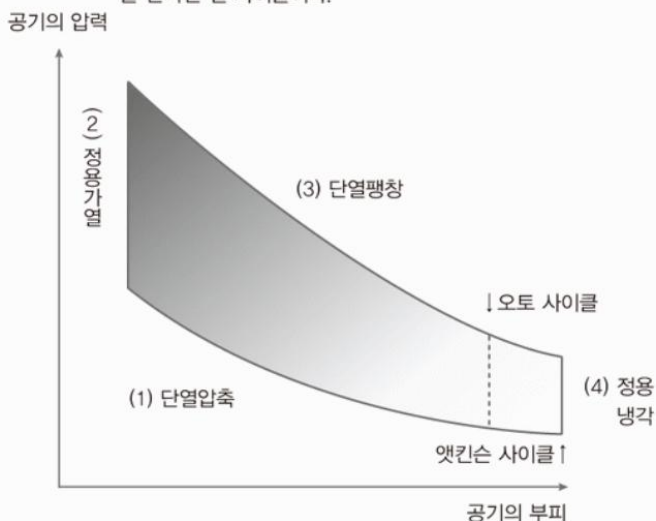
엔진 개발은 효율과의 싸움이다.
사진은 Nissan 3.8L V6 VR38 엔진

기계의 에너지 손실

지금까지 열기관에 한정하여 이야기했지만, 사실 기계의 에너지 손실은 모두 비가역변화에서 기인한다. 반대로 말하자면 효율이 좋은 기계란 비가역변화를 되도록 동반하지 않고 동작하는 기계라고 할 수 있다. 따라서 효율이 좋은 기계를 만들기 위해서는 어떠한 현상이 비가역변화인지를 인지하고 가능한 한 일어나지 않도록 하는 것을 우선시하는 것이라고 할 수 있다.

그림 3-7-1

피스톤을 빨리 움직이면 다양한 비가역적 현상이 발생하여 쓸모없는 에너지 교환이 생긴다

TIPS 앳킨슨 사이클은 오토 사이클과 마찬가지로 열 사이클이며 오토 사이클의 팽장행정을 길게하여 운동을 많이 발생하는 방식으로 일반적으로 설명된다. 여기서 어떻게 비가역변화를 일으키지 않는 엔진을 만드는 것에 대한 시점에서 보면, 앳킨슨 사이클은 과정 (1)과 (3)의 단열변화를 연장하여 비가역변화인 과정(4)의 정용냉각을 짧게 만든 열 사이클이라고 할 수 있다. 참고로 고온 단열팽창과 저온 단열압축의 선이 교차하는 일은 절대 없으며, 이들을 잇는 정용행정은 반드시 필요하다.
마찬가지로 엔진에 국한되지 않고 다양한 기계의 고효율화의 연구를 들여다 보면, 〈모든 것은 비가역변화를 일으키지 않기 위한 연구이다〉라고 할 수 있다.

그림 3-7-2 **앳킨슨 사이클**

앳킨슨 사이클이란 단열 과정을 연장하여 비가역변화인 정용 냉각을 단축한 열 사이클이다.

혼다의 아코드 하이브리드에 탑재된 2L 앳킨슨 사이클 DOHC i-VTEC 엔진

복잡해 보이는 현상 또한 단순한 법칙으로 지배된다

4-1 베르누이의 정리

▶ 유체의 압력과 속도의 관계를 생각해보자

자동차의 공기역학 특성은 연료소비량과 가속성능, 주행안정성 등에 커다란 영향을 끼친다. 특히 레이싱카에는 공력성능이 차량전체의 운동성능에서 차지하는 비중이 크기 때문에 레이스의 승패를 좌우하는 커다란 요소가 되므로 일부 전문가 외에도 레이스 팬들 사이에서도 화제에 오르곤 한다.

여기서는 자동차의 공기해석과 공력설계의 기초가 되는 공기역학 이론에 대해 설명하겠다.

흐름이 있을 때 분자의 운동

앞서 3-1에서 평행상태에 압력은 어느 방향에서 계측해도 같은 수치가 된다고 설명했다. 무질서하게 운동하고 있는 무수한 분자들도 거시적 관점에서 보면 그 충격력은 어느 방향으로든지 똑같이 배분되기 때문이다. 이를 에너지의 틀에서 보면, 어느 방향으로든 분자의 운동에너지가 골고루 분배되고 있다고 할 수 있다. 이는 에너지등분배의 법칙으로 알려졌다.

그러나 흐름이 있는 경우 이 에너지등분배 법칙은 성립되지 않다. 흐름 속에서 분자의 운동에너지는 흐름의 방향으로 많이 분배되고, 그만큼 흐름과 다른 방향의 운동에너지는 감소하기 때문이다. 흐름 속에서 압력을 계측하면 흐르는 방향에서 계측한 압력이 가장 높고 흐름과 수직방향에서 계측한 압력이 가장 낮게 나온다.

여기서 주의해야 할 점으로 흐름이 변화하기 전과 후, 분자의 운동에너지의 총합은 변화하지 않는다는 것이다. 예를 들면, 어느 평형상태에서 흐름이 생겨났을 때 평형상태에서의 분자의 모든 운동에너지와 흐름 속에서의 분자의 모든 운동에너지는 같은 크기라는 말이다.

그림 4-1-1 분자의 운동. 분자의 운동에 흐름이 있으면 흐르는 방향의 압력이 가장 높아지고, 흐름과 수직방향의 압력이 가장 낮아진다

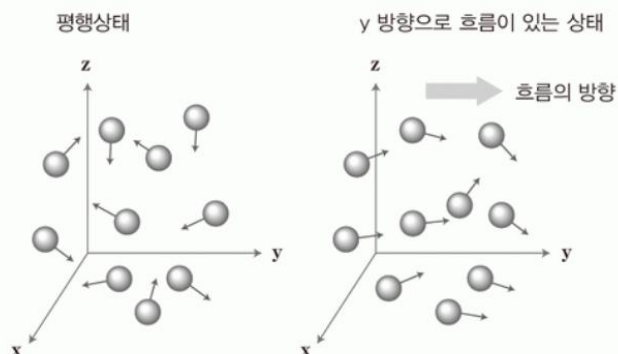



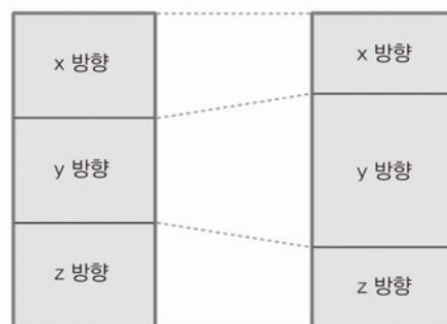
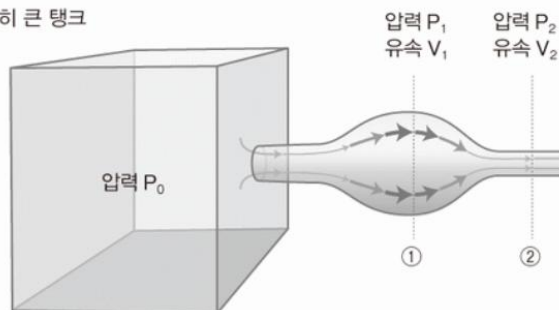
그림 4-1-2 분자의 운동 에너지 배분

흐름의 방향이 변해도 분자의 운동 에너지 총량은 변하지 않는다

그림 4-1-3 베르누이의 정리의 예

베르누이의 정리

유속의 변화에 따라 분자의 에너지 분배가 달라졌을 때 속도와 압력이 어떤 관계에 있는지를 보여주는 것이 다니엘 베르누이에 의한 베르누이 정리다. 베르누이의 정리는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

여기에서 P는 압력, ρ은 유체의 밀도, V는 유속이다. 베르누이는 현재 에너지로 통하는 〈활력〉이라는 개념에서 속도와 압력의 관계를 깨달았는데, 그 스스로는 압력과 속도의 관계를 명확하게 이해하지 못했다고 말했다. 베르누이의 정리를 올바른 수학적 표현으로 보여준 것은 그의 오랜 친구인 레온하르트 오일러였다.

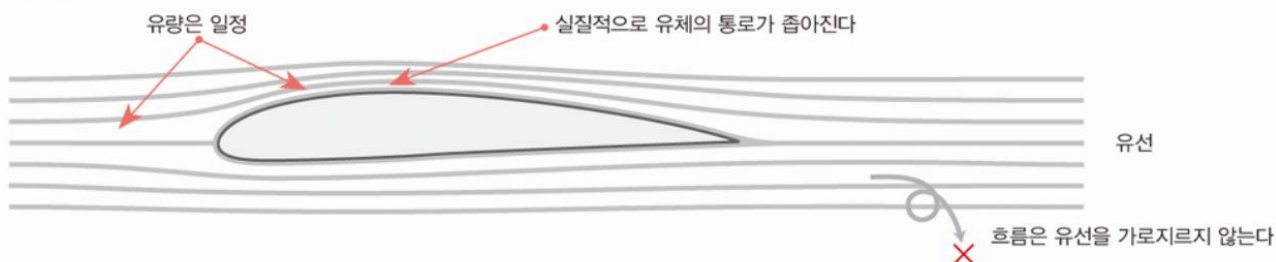
$$P_0=P_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2=P_2+\frac{1}{2}\rho V_2^2$$

양력 발생의 메커니즘

여기에서는 베르누이의 정리를 이용해 익형(翼型, airfoil)이 양력을 만들어내는 메커니즘을 설명하고자 한다.

그림 4-1-4는 날개 주변의 흐름을 유선으로 나타낸 것이다. 유선이란 유체의 속도 벡터 선과 접하는 곡선으로, 말하자면 흐름의 길이라고 할 수 있다. 유체의 정의에 의하면 흐름은 유선을 드나들 수 없다. 즉, 같은 유선으로 싸인 영역의 유량은 어디나 동일하다는데 주의해야 한다. 또한 유체가 존재하는 공간을 흐름의 장이라고 한다.

그림 4-1-4의 흐름의 장에서 익형 앞부분은 선들이 동일한 간격이지만 익형 윗부분에서는 간격이 좁아짐을 알 수 있다. 그런데 유체들이 선을 드나들 수 없으니 익형 윗부분에서는 실질적으로 통로가 좁아진다고 볼 수 있다. 유선 사이에 끼어있는 유체의 양은 변화하지 않기 때문에 좁을 통로를 따라 익형 윗부분에서는 속도가 빨라지지 않으면 안된다. 여기서 베르누이의 정리를 이용하면 익형 윗부분은 속도의 제곱에 비례해 압력이 낮아질 것이다. 반대로 익형의 아랫부분에서 유선의 간격이 넓어진다면, 유속은 떨어지고 압력은 올라간다. 이처럼 생기는 윗부분의 압력과 아랫부분의 압력의 차이가 양력의 정체이다.

그림 4-1-4 날개의 양력 발생 메커니즘 날개 윗부분에서는 실질적으로 통로가 좁아지는데 비해 유량은 변화가 없기 때문에 유속이 빨라지고, 그 결과 압력은 낮아진다

유체 운동의 법칙

▶ 유체의 운동방정식이 의미하는 것

점성을 고려하지 않는 경우—오일러 방정식

유체의 운동방정식을 처음으로 제시한 사람은 베르누이 정리를 올바르게 공식화한 오일러였다. 이것은 유체역학의 진보라는 관점에서 보아 베르누이 정리보다도 훨씬 중요한 의미를 지닌다. 왜냐하면 이 운동방정식을 풀어내면 흐름의 모습을 산출할 수 있기 때문이다. 오일러가 도출해 낸 운동방정식은 오일러 방정식이라 불리며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\nabla P$$

좌변은 유체가 이동(가속한다)하는 효과, 즉 유체가 흐르는 효과를 표현하고 있다. 한편, 우변은 압력항으로 불리며 압력의 경사를 표현하고 있다. 요약하면 오일러 방정식은 "유체는 압력 경사에 따라 흐른다"라고 말하고 있는 것이다.

압력구배와 그 장을 흐르는 유체와의 관계는 경사면과 그곳을 굴러가는 구체의 관계와 같다고 할 수 있다. 경사면에 해당하는 것이 압력구배이고, 구체에 해당하는 것이 유체이다. 예를 들어 경사면의 구배가 급격한 곳에서는 구체는 가속하고 경사면의 구배가 거꾸로일 경우에는 감속한다. 마찬가지로 유체는 압력구배가 급격한 곳에서는 가속하고 역압력구배에서 흐름은 감속한다.

오일러 방정식은 이처럼 누구나 직관적으로 이해할 수 있는 유체의 성질을 의미하는 것에 지나지 않는다. 즉 복잡해 보이는 흐름이라도 오일러 방정식이 나타내는 단순한 법칙에 지배되고 있다는 것이다.

그림 4-2-1 압력구배와 유체와의 관계는 경사면과 구체의 관계와 비슷하다

TIPS 오일러가 공기역학(유체역학)에 공헌은 다대하다. 베르누이의 정리라는 그때까지 알려진 유체의 성질을 물리적인 원리에 따라 바르게 수식화한 것이 오일러의 중대한 공헌이다. 특히 "연속식"과 "오일러 방정식"을 돛룰한 것은 오일러가 유체역학에 끼친 가장 뛰어난 업적이다. 오일러는 이 두 방정식을 1753년에 논문으로 발표했다. 그의 업적으로 인해 유체역학의 제문제를 정리분석하는 길이 열렸다.

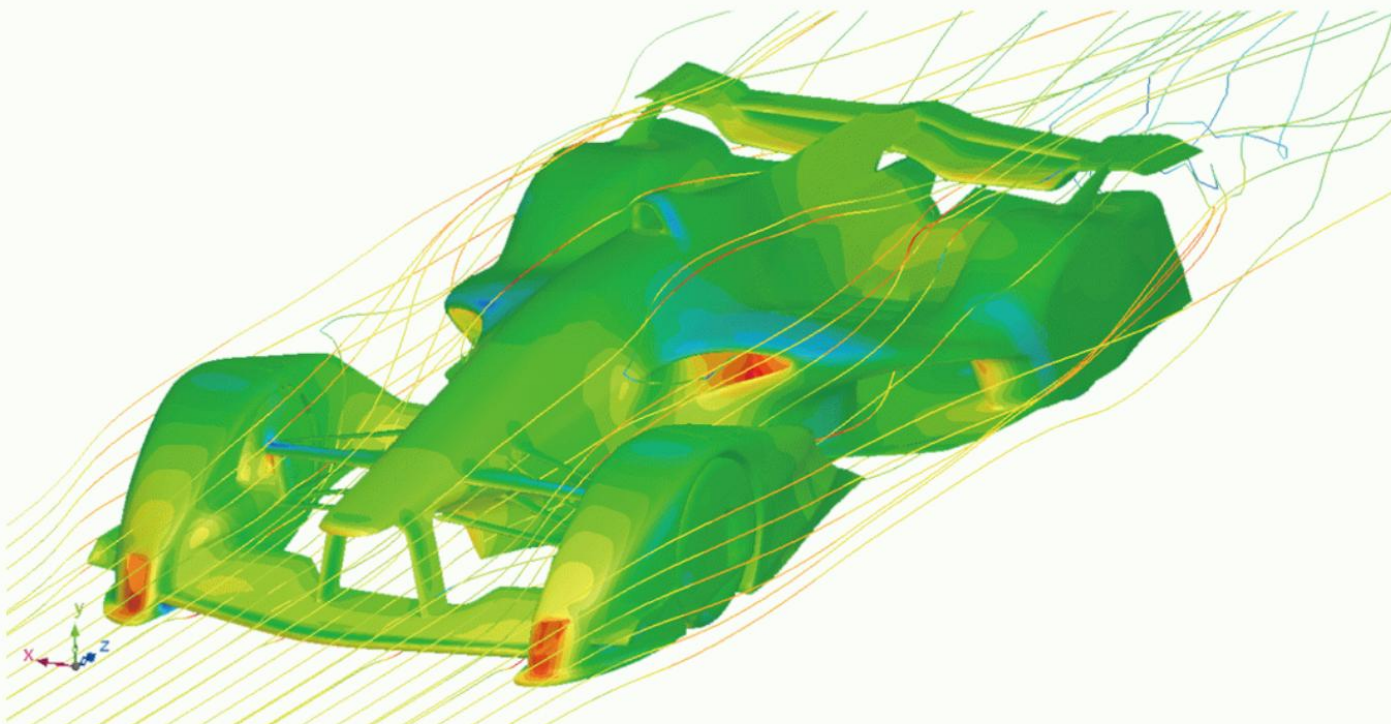
나비에-스토크스 방정식

오일러 방정식은 유체가 흐르는 효과와 압력의 관계를 수학적으로 표현했지만 실제 유체의 점성효과는 포함되지 않았다. 점성효과를 포함한 운동방정식은 19세기 중반 루이 나비에와 조지 스토크스에 의해 도출되었다. 그들이 도출한 운동방정식인 나비에-스토크스 방정식은 다음처럼 표현할 수 있다.

$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\nabla P+\nabla\cdot\tau$$

오일러 방정식과 마찬가지로, 좌변은 유체가 흐르는(가속하는) 효과, 우변 제1항은 압력항으로 압력 경사를 표현한다. 새롭게 추가된 우변 제2항은 점성항 및 확산항으로 불리며 점성 특성을 표현하고 있다. 나비에-스토크스 방정식을 요약하면 "유체 운동은 대체로 압력 경사에 따라 결정되지만, 점성 또한 유체 운동에 영향을 미친다"라는 것이다. 참고로 위의 공식은 유체의 밀도변화를 고려하지 않은 비압축성 나비에-스토크스 방정식이다.

TIPS 오일러 방정식도 나비에-스토크스 방정식도 아직 일반해가 발견되지 않았다. 따라서 직접 적용 가능한 것은 매우 특수하고도 한정된 흐름뿐이다. 이러한 방정식으로 일반적인 흐름을 계산하려면 현재로서는 컴퓨터를 사용해 수치적으로 푸는 수밖에 없다.
참고로 나비에-스토크스 방정식은 유체역학뿐 아니라 비선형 편미분 방정식의 전형적 문제로 수학적으로도 매우 중요한 연구대상이다. 2000년 미국의 클레이 수학 연구소는 개의 7개의 미해결 수학 문제에 100만 달러의 현상금을 걸었고, 밀레니엄 문제라 불리며 화제를 모았었다. 그 7개의 미해결 문제 중 하나가 바로 나비에-스토크스 방정식에서 3차원의 해가 항상 존재함을 증명하는 것이다.

컴퓨터로 해석된 나비에-스토크스 방정식

4 3 와사와 불연속면

▶ 유체 운동방정식의 회피 전술

오일러 방정식도 나비에-스토크스 방정식도 유체의 운동을 정확히 표현한 방정식이지만, 수학적 어려움 때문에 실제 흐름에 대해서는 거의 적용 불가능하다는 한계가 있다. 그래서 이들 방정식에 기대지 않고 흐름을 해석하려는 움직임이 생겨났다. 여기서는 달랑베르의 패러독스를 극복하기 위한 노력을 소개하겠다.

달랑베르의 파라독스

베르누이, 오일러와 교류가 있던 달랑베르는 2차원의 정상 흐름 속에 놓인 원기둥의 항력(흐름의 속도와 평행으로 같은 방향에 생기는 힘)의 이론값을 구했다. 그 결과 항력은 0이었다.

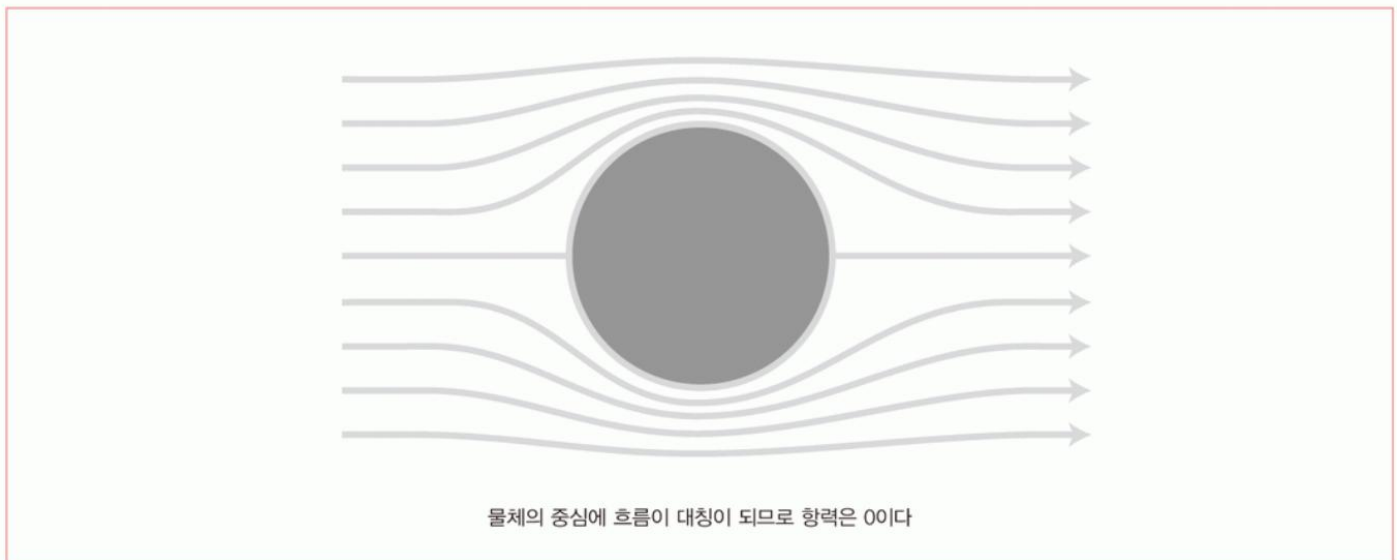
당연히 실제 상황에서는 항력이 0이 될 리 없다. 하지만 그의 계산 자체에는 오류가 없었고 누가 몇 번이고 다시 계산해 보아도 결과는 변함이 없었다.

이것은 이후 160년간 유체역학계의 중대한 문제가 되어 달랑베르의 파라독스라 불리게 되었다.

현대의 지식이라면 그의 계산 자체에는 문제가 없으며, 유체의 점성을 고려하지 않았기에 생겨난 오류임을 쉽게 알 수 있을 것이다. 점성을 고려하지 않은 흐름의 경우 원기둥 전후로 흐름이 대칭을 이룬다. 따라서 압력도 원기둥 전후로 대칭 이루어 원주 주위의 압력이 서로 상쇄되는 결과 항력이 0이 된다.

당시는 아직 나비에-스토크스 방정식이 없었을 뿐 아니라 점성효과의 취급 방법도 모르던 시기. 달랑베르의 파라독스가 완전히 해소된 것은 1904년 프랑톨이 경계층 개념을 제창한 후였다(4-5에서 더 자세히 설명하겠다).

그림 4-3-1 달랑베르의 파라독스

물체의 중심에 흐름이 대칭이 되므로 항력은 0이다

TIPS 와사나 불연속면의 개념은 이후에 설명할 양력의 순환이론, 경계성층론, 양력선이론으로 발전하게 된다. 유체역학에서 정의한 소용돌이는 일반적으로 생각하는 소용돌이와는 다르다. 유체역학에서 말하는 소용돌이란 유치의 강부피인 회전운동이며 그 〈운동형태〉를 나타낸다.

와사와 불연속면의 개념

유체의 운동방정식을 직접 풀지 않으면서 유체의 운동을 과학적으로 다루는 길을 처음에 처음 연 것은 독일의 헤르만 헬름홀츠다. 그는 소용돌이의 개념을 발전시켜 새로운 흐름의 개념을 제창했다.

그림 4-3-2처럼 왼쪽에서 오른쪽으로 흐르는 미소한 유체 요소를 생각해보자. 일반적으로 유체의 표면에 전단응력(물체를 절단하려 작용하는 힘 2-1 참조)이 작용하면 유체 요소의 면이 이동하는 속도에 차이가 나온다. 그 결과 유체 요소는 회전하는 소용돌이가 되는 경향이 있다. 이렇게 만들어진 소용돌이를 와사(渦糸, vortex)라 부르며 와사가 이어져 형성되는 막을 와층(渦層, vortex sheet)이라고 부른다.

이런 와사 개념을 도입하면 그림 4-3-3처럼 속도가 다른 흐름이 합류할 때에 생기는 속도불연속면이나, 물체 근방에서 유속이 크게 변화하는 영역(경계층)을 수학적으로 취급할 수가 있다. 이런 흐름은 미세한 유체 요소의 회전으로 이루어진다고 볼 수 있고, 이미 수학적 표현을 가지고 있는 소용돌이와 마찬가지로 취급할 수 있기 때문이다.

헬름홀츠에 의해 와사나 와층의 개념이 도입되면서 한세기 동안 미스터리로 남아있던 달랑베르의 파라독스가 갑자기 해결의 실마리를 보이기 시작했다. 헬름홀츠가 불연속면의 개념을 발표한 직후, 키르히호프나 레일리는 불연속면 개념을 도입해 평판의 항력 산출을 시도했다.

달랑베르의 파라독스에 의하면 평판의 항력 역시 0이다. 그러나 만약 평판의 앞과 뒤에 불연속면이 뻗어있다고 한다면 평판 뒤쪽을 유속이 낮은 영역이라 가정할 수 있다. 사실상 달랑베르의 파라독스는 깨어지게 되는 것이다. 결국 그들은 평판 뒤쪽의 압력을 실제보다 높게 가정했기 때문에, 항력 산출 시도는 실패로 끝났지만 항력산출을 위한 노력은 바른 방향으로 나아가고 있었다.

그림 4-3-2 와사, 와층의 개념. 여기서는 와사의 개념을 가능한 쉽게 설명하기 위해 와사는 크기가 있는 것으로 표현했지만 실제 와사의 단면적은 무한히 작다

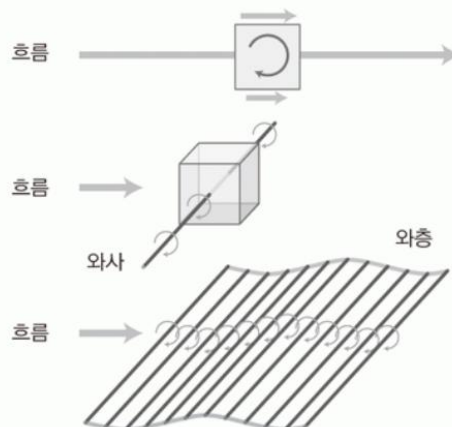



그림 4-3-3 상하 유속의 차이가 불연속면에 생기는 힘

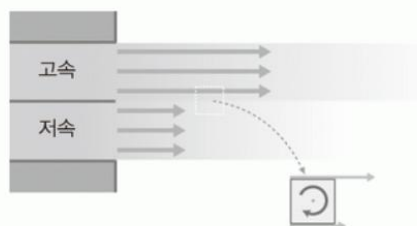



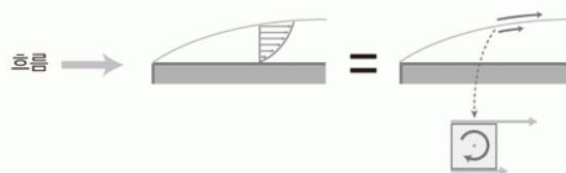
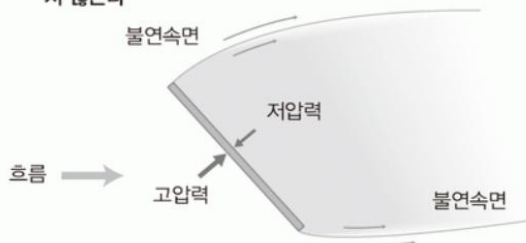
그림 4-3-4 유속의 불연속면으로서의 와사(와층) 적용

경계층도 유속의 불연속면으로서 취급하는게 가능하다

그림 4-3-5 평판 주위의 흐름의 장의 개념도. 만약 평판의 앞면과 뒷면에서 불연속면이 뻗는다고 한다면 평판의 뒷면을 유속이 낮은 영역에 있는 것으로 간주할 수 있게 되어 사실상 달랑베르의 패러독스가 존재하지 않는다

쿠타 – 주코프스키의 정리

▶ 양력 순환 이론

키르히호프나 레일리는 불연속면이 물체의 예각부에서 형성된다고 가정하고 있었다. 그런데 그런 불연속면은 물체 표면 어디에서나 발생해 물체 표면은 와층으로 덮여있다고 생각하는 것도 가능하다. 사실 이런 생각은 양력 순환 이론이라는 양력 이론과 밀접하게 관계하고 있다.

쿠타–주코프스키의 정리

물체의 표면에 존재하는 점성으로 인하여 유속이 크게 변화하기 때문에 물체 표면의 어디에서나 와선은 발생하며 물체를 부유하는 와층이 된다. 이때 물체를 부유하는 와층 전체의 강도를 "순환"이라고 한다. 이러한 개념에서 물체 주변의 흐름은 균일 흐름과 순환 흐름 두 종류로 나뉘어 분리할 수 있다. (순환의 정의란 임의의 평곡선에 접한 유속을 선적분하여 얻는 양이다)

위와 같은 과정에서 균일 흐름과 순환 흐름이 있다고 가정하고 이것을 중첩시킨 흐름을 생각해 보자. 이때 순환 흐름의 위쪽에는 균일 흐름과 흐르는 방향이 같기 때문에 상류의 유속은 증가하게 된다. 순환 흐름의 아래쪽에서는 균일 흐름과 순환이 역방향으로 흐르기 때문에 이것을 중첩시키면 유속은 감소하게 된다. 그 결과 베르누이의 정리에 따라 순환 흐름의 상부에는 압력이 저하하거, 하부에는 압력이 상승하기 때문에 상향 양력이 발생하게 된다. (그림 4–4–1)

이러한 흐름은 날개 주변의 흐름에 닮아있어, 날개의 윗면에서는 유속이 높아지고 압력이 저하하여, 날개의 아랫면에서는 유속이 낮아지며 압력이 상승하는 것에 대응한다. 실제로 날개 주변의 흐름은 균일 흐름과 순환 흐름ㅇ르 중첩시킨 것으로 다룰 수 있으며 순환이 구해지면 양력을 다음 식으로 계산할 수 있다. (그림 4–4–2)

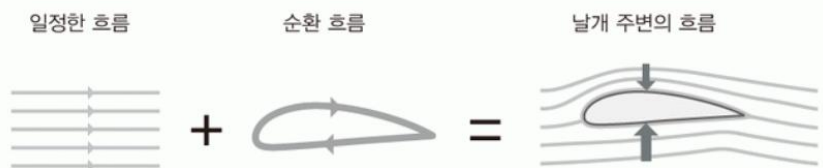
양력=유체의 밀도 × 균일 흐름의 속도 × 소용돌이의 순환 ($L = \rho V \Gamma$)

이 이론은 빌헬름 쿠타와 니콜라이 주코프스키가 각자 개별적으로 제창한 것으로 쿠타–주코프스키의 정리라고 한다.

이 정리에서 알 수 있는 것은 물체의 형상이 어떠한 것이라도 순환을 구할 수 있다면 그 물체에 발생하는 양력을 구할 수 있다는 것이다.

그림 4-4-1 균일흐름과 순환흐름을 겹친 흐름의 장

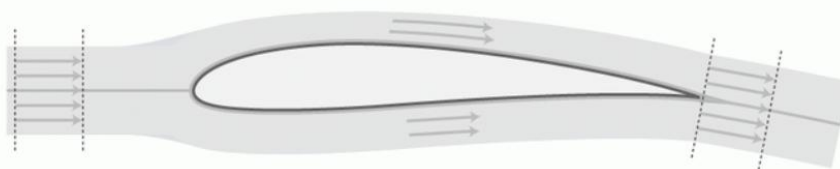
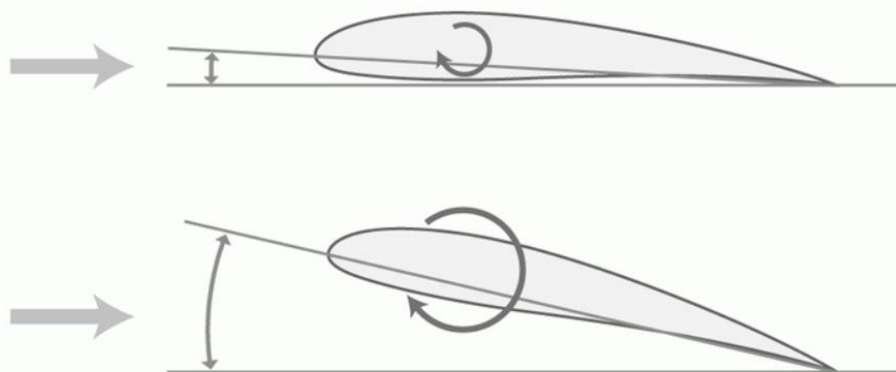
일정한 흐름 + 순환 흐름 =

그림 4-4-2 날개형 주변의 흐름도 균일 흐름과 순환 흐름의 합으로 볼 수 있다

쿠타의 조건

쿠타-주코프스키의 정리를 통해 물체 주변의 순환을 풀 수 있다면 그 물체에 작용하는 양력을 계산할 수 있음을 확인했다. 이 정리를 날개 형태에 적용할 경우에는 한 가지 주의가 필요하다. 그것은 기본적인 유체 방정식에서는 흐름이 매끄럽다는 전제에서 시작하지만, 뾰족한 것이나 불연속적인 흐름에 대해서는 특별한 장치가 필요하게 된다.

날개 형태의 예를 생각할 때, 날개의 뒷날에서 그 형상이 뾰족해진다. 그렇기 때문에 뾰족한 날개의 끝날에서는 날개의 윗면의 흐름과 아랫면의 흐름이 날개의 뒷날에서 부드럽게 합류한다는 조건을 두지 않으면 쿠타-주코프스키 정리는 날개에 적용할 수 없다는 제약이 존재한다. 이처럼 뒷날에서 뒷면과 아랫면의 흐름이 부드럽게 합류한다는 조건을 쿠타의 조건이라고 한다. 쿠타의 조건을 가정함으로써 비로소 순환을 결정할 수 있게 되어 양력을 수학적으로 구할 수 있게 된다.

또한 흐름에 대한 날개의 제어각을 설정한 경우, 이 제어각이 커질수록 쿠타의 조건 만족시키기 때문에 필요한 순환은 커진다. 따라서 제어각이 클수록 순환은 자연스럽게 커지며, 그 결과 커다란 양력이 발생하게 된다. 이것이 제어각을 크게 하면 양력이 커지는 메커니즘이다.

그림 4-4-3 쿠타의 조건과 순환

4-5 프란틀의 경계층이론

▶ 마찰의 영향은 물체의 표면 근방에만 미친다

키르히호프나 레일리의 항력 산출 시도는 실패로 끝났지만 성공에 확실히 가까워졌다. 여기에서는 최종적으로 달랑베르의 파라독스를 해결한 프란틀의 경계층이론을 소개한다.

프란틀의 경계층이론

항력을 계산하려면 압력뿐만 아니라 마찰력을 어떻게 다루는가도 중요하다. 그러나 마찰력을 다루기 위해서는 물체 표면에서의 흐름이 어떻게 이루어지는지를 알아야 한다. 그런데 물체 표면에서 유체 흐름의 속도가 0이 되어 표면에 완전히 붙어있을까, 아니면 얼마간 속도를 가지고 표면을 따라 흐를까. 마찰력을 계산하는데 있어 명확히 해야만 할 일이 20세기에 들어와서도 아직 미스터리인 채로 남아있었다.

이 난제에 처음 경계층의 개념을 도입함으로서 해답을 제시한 것이 루드비히 프란틀이다. 그는 점성의 영향에 의해 물체 표면에서 유속은 0이 되며, 마찰의 영향은 물체의 표면 근방에만 머물러 그 바깥의 흐름은 점성의 영향을 받지 않는다고 보았다. 이처럼 물체 표면 근방, 점성의 영향을 받는 영역은 현재 경계층으로 불린다.

프란틀은 1904년에 「매우 낮은 점성을 가진 유체의 운동에 관해서」라는, 불과 8쪽짜리 논문을 통해 처음으로 경계층의 개념을 발표했다. 그는 나비에-스토크스 방정식을 경계층이라는 특수한 흐름에만 적용해 단순한 나비에-스토크스 방정식인 경계층 방정식을 도출해 냈다. 이것은 완전한 나비에-스토크스 방정식보다 훨씬 다루기 쉬우며, 이론적인 동시에 정밀도 높은 항력 계산이 가능하다. 또한 경계층이론으로 인해 흐름이 박리하는 위치도 어느 정도 예측할 수 있게 되었다

이렇게 달랑베르의 패러독스는 프란틀의 경계층 이론으로 완전하게 해결된 것이다. 프랑톨의 1904년 논문은 이렇게 유체역학에 새로운 전개를 가져온 유체역학 사상 가장 중요한 논문으로 간주되고 있다.

그림 4-5-1 익형 표면의 경계층의 속도분석. 경계층의 범위는 물체표면 근처의 외부 유속의 99% 이하 영역이라고 정의할 수 있다.

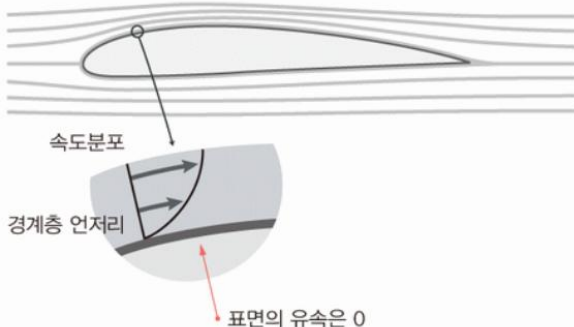



그림 4-5-2 익형의 박리와 박리점의 경계층 속도분포

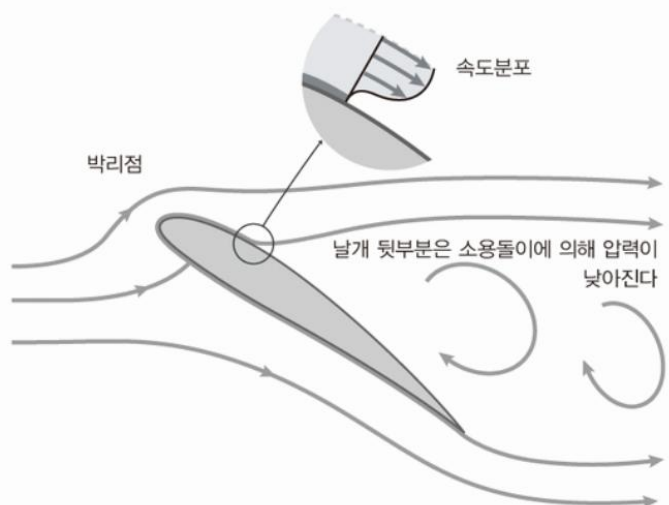
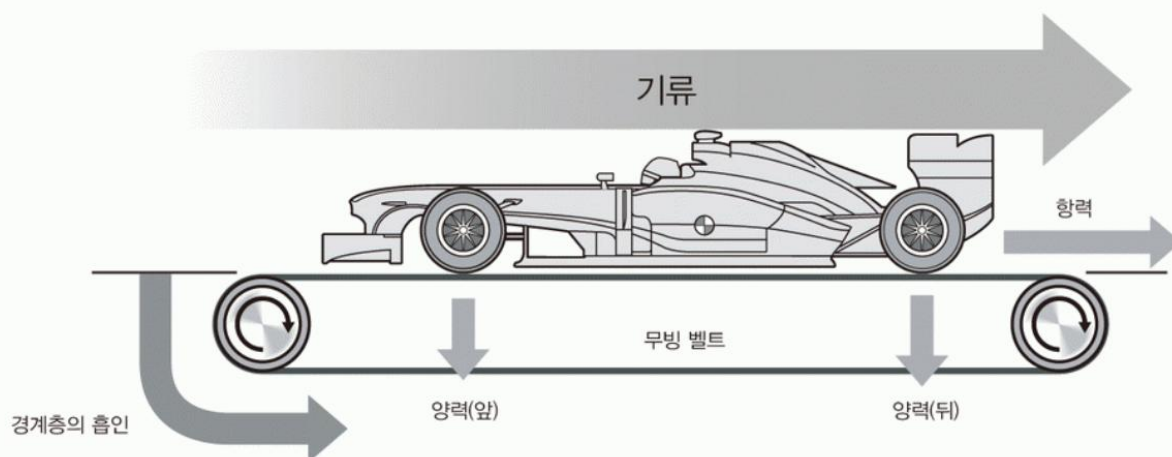



그림 4-5-3 땅 위를 주행하는 탈것들은 땅이 공력에 큰 영향을 미친다. 자동차가 실제로 주행할 때 지표면 근방에서 경계층이 발생하는 것은 아니지만 풍동실험에서는 풍동 벽에서 경계층이 생겨난다. 경계층은 공기의 흐름이 느린 영역이므로 차체 밑에서는 실질적으로 통로가 막는 효과로 인해서 실제 주행중인 자동차의 경우와는 다른 흐름이 만들어진다. 특히 차체와 지면 사이에서 다운포스를 발생시키는 레이싱카는 이것이 매우 큰 문제이기 때문에 실제 노면을 본뜬 벨트를 풍동에 필요로 하게 되었다. 무빙 벨트는 타이어의 회전을 재현하기 위한 것만이 아니라, 풍동벽에 경계층의 발생하는 것을 막는 것이다.

TIPS 경계층이란 물체 주변의 점성의 영향을 강하게 받는 층이며, 프란틀은 이것을 〈경계층〉과 〈전이층〉이라는 두 용어를 사용했다. 그 자신은 특히 후자를 자주 썼으나 프란틀의 학생들이 〈경계층〉을 자주 사용하면서 현재는 〈경계층〉이라는 용어만 남아있다.

TIPS 프란틀이 유체역학 발전에서 이룩한 공헌은 이루 다 헤아릴 수 없다. 그의 공적은 경계층이론 외에도 양력선이론, 난류의 혼합길이의 가설, 초음속 충격파의 이론 등 현재 유체역학의 뼈대를 이루는 중요한 이론들을 차례차례 만들어 냈다. 게다가 그의 문하에서 브라시우스, 카르만, 베츠, 뭉크와 같은 유체역학 역사에 이름을 남긴 우수한 유체학자들이 많이 배출됐다.

4-6 프란틀의 양력선이론

▶ 유한 날개에 발생하는 날개끝 소용돌이의 문제

쿠타나 주코프스키에 의한 양력의 순환이론이 탄생하면서 2차원적 흐름 속에서의 양력을 정확히 계산할 수 있게 되었다. 그러나 실제의 날개 주위 흐름은 일반적으로 3차원적이며, 2차원적 흐름의 익형 이론을 그대로 적응할 수가 없다. 따라서 3차원적인 흐름 속에 놓여있는 날개의 양력 이론을 구축할 필요가 있다.

유한한 길이의 날개 주변 흐름의 모습

지금까지 익형이라는 단어가 등장했는데, 익형이라는 것은 무한히 긴 폭을 가진 날개로도 생각할 수 있다. 이러한 무한히 긴 날개는 날개의 어느 부분에서든 순환이 같은 크기로 생겨나 양력이 일정하다. 따라서 무한히 긴 날개에는 쿠타-주코프스키의 정리를 직접 적용할 수 있다.

그러나 실제 날개의 길이는 유한하기 때문에 날개끝면에서 흐름은 압력이 높은 밑면에서 압력이 낮은 윗면으로 흐르려고 한다. 익면의 압력분포는 무한한 길이의 날개와는 달라지며 날개끝에 가까워질수록 양력은 낮아진다. 날개끝을 고압측에서 저압측으로 도는 흐름을 세로 소용돌이가 되어 하류로 흐른다. 이처럼 날개끝의 기점에 발생하는 소용돌이를 날개끝 소용돌이라고 한다.

그림 4-6-1 유한한 길이를 가진 날개 주변의 흐름

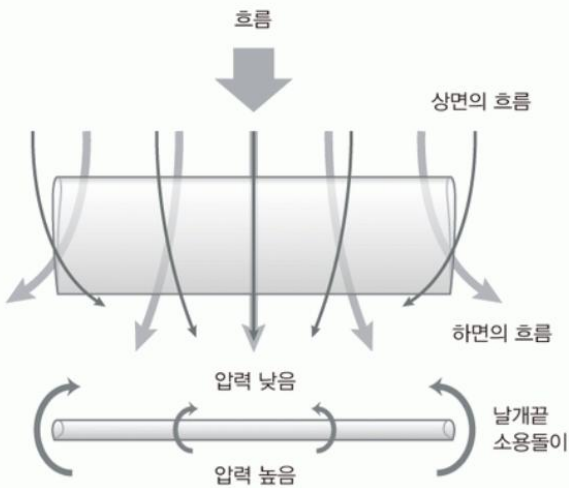



그림 4-6-2 무한한 길이의 날개와 유한한 길이 날개의 순환과 양력

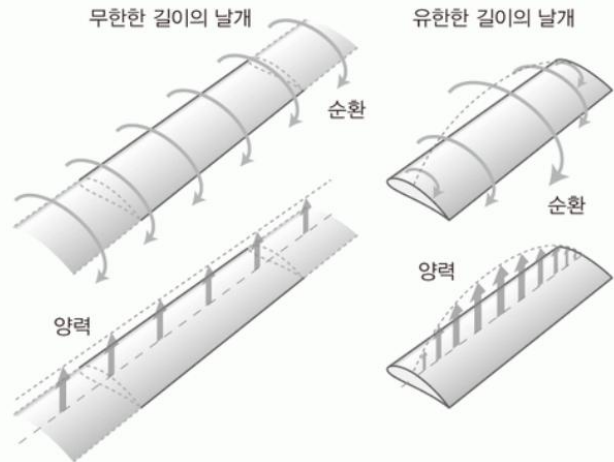
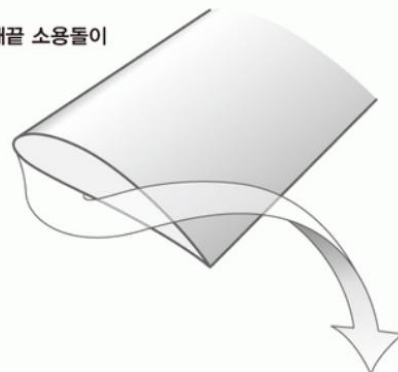



그림 4-6-3 날개끝 소용돌이

프란틀의 양력선 이론

영국의 란체스터는 유한한 길이를 가진 날개 주변의 흐름을 헬름홀츠의 와사 개념을 이용해 모델화했다. 그는 날개 주변은 와사에 따라 순환이 만들어지며, 그 와사가 날개끝에서 하류 방향으로 구부러지며 새로운 순환이 나타난다고 생각했다. 즉 유한한 길이의 날개 주변 흐름은 〈상류쪽의 일정한 흐름〉, 〈날개 끝 방향으로 늘어선 와층〉, 〈날개 끝에서 하류를 향해 구부러지며 뻗어가는 와사의 다발〉로 구성된다고 생각하고, 이들 흐름을 모두 합하면 유한한 날개의 양력이 구해질 것이라 생각했다. 하지만 그는 이것들을 수학적으로 나타내는데 실패해 그의 이론은 학술적으로 인정받지 못했다.

결국 유한날개이론을 처음 완성시킨 것은 경계층이론을 제창한 프란틀이었다. 프란틀이 제창한 유한날개의 양력이론은 란체스터가 제시한 모델과 유사했지만 정확한 수학적 표현을 제시함으로서 란체스터가 이루지 못한 작업에 성공한 것이다.

프란틀은 무한히 약한 와사를 날개의 길이방향으로 무한히 많이 묶은 것을 날개면에 배치하고, 각각의 와사가 하류방
프란틀의 양력선이론에 의해 유한날개가 만들어낼 수 있는
방향으로 휘어지는 모델을 고안했다. 덧붙여 이 무한히 약한 와사를 양력선이라고 불렀다.

양력과 모멘트의 산출이 가능해졌다. 또 날개 끝 소용돌이에서 기인하는 항력인 유도항력의 존재가 밝혀졌으며 날개의 길이(종횡비)가 늘어날수록 유도항력은 작아진다는 사실이 이론적으로 규명됐다.

TIPS 날개끝 소용돌이는 그림 4-6-1처럼 압력이 높은 아랫면에서 압력이 낮은 윗면으로 흐름이 일어나기 때문에 발생한다. 날개끝 소용돌이가 발생하기 위해서는 지속적으로 에너지를 필요로 하짐나 결국 그 에너지는 엔진에서 오는 것이므로 연료를 낭비하는 꼴이 된다. 실제로 날개끝 소용돌이는 내리부는 바람으로 인해 날개의 압력장에 영향을 미쳐 압력으로 인한 항력을 발생시킨다. 양력에 더 많은 흐름을 유도하기 위해 발생하는 항력이므로 유도항력이라고 불린다. 날개끝 소용돌이에서 양력이 감소하는 것을 플란틀은 지적하고 있다. 이것을 소용돌이의 내리바람에 의해 실질적인 제어각(유효제어각)이 작아지기 때문이다. (그림 4-6-5)
날개끝 소용돌이를 방지하기 위해 만들어진 것이 익단판이다. 익단판은 날개의 압력면과 고입면을 따로 흐르게 해 날개끝의 흐름의 선회를 제어하기 위한 공력 디바이스이다. 그러나 날개끝 소용돌이는 날개에서만 발생하는 것은 아니다. 날개에서 날개끝 소용돌이가 발생하는 메커니즘과 마찬가지로 주류 방향에 대해 수직방향으로 압력분배가 있다면 이 압력배분에 따라 흐름이 일어나, 그 결과 소용돌이가 발생하여 항력을 낳는다. 예를 들어 그림 4-6-6에서 보이는 차량 뒷면에 발생하는 소용돌이는 전형적인 세로소용돌이이다.

그림 4-6-4 양력선이론의 개념도

그림 4-6-5 유한 날개 주변의 흐름

그림 4-6-6 차체에서 발생하는 세로 소용돌이

5-1 CFD의 세계

▶ CFD의 세계는 연속하지 않는 세계이다

앞선 챕터에서 소개한 공기역학이론은 나비에--스토크스 방적식을 회피하기 위한 방책이었다. 그러나 더욱 정확한 흐름의 장을 알기 위해서는 나비에 스토크스 방정식이라는 유체의 방정식을 풀 필요가 있다. 그러한 배경에서 유체의 방정식을 컴퓨터로 수치적으로 푸는 방법이 발전해왔다. 이것이 Computational Fluid Dynamics(계산유체역학, 수치유체역학)로, 줄여서 CFD로 부른다. CFD는 현재 자동차 개발에 있어서 빠질 수 없는 도구이지만 그 원리는 일반인에게 잘 알려져 있지 않다. 여기서는 CFD 이론 개념을 간결하게 소개하도록 하겠다.

근사

현실의 세계는 아날로그이다. 즉 부드럽게 연속되어 있으며 어느 시간 어느 공간의 한 점을 꺼내와도 어떠한 물리적인 정보든 거기에 존재한다. 이론유체역학에서도 유체는 기본적으로 매끄럽게 변화하는 연속체로 본다. 한편 컴퓨터는 디지털이기 때문에 불연속적으로 띄엄띄엄한 값으로 밖에 다룰 수 없고, 제한된 정보밖에 유지할 수 없다. 그 때문에 CFD에서도 본래 매끄러웠을 시간이나 공간을 분할해 불연속인 것으로 다룰 수밖에 없다. 하지만 CFD의 세계에서도 가급적 현실 세계에 가까운 매끄러운 세계를 표현해야 하므로 컴퓨터에 없는 정보를 모델화하화하고 보완하려 하는 것이다.

그럼 정보가 없는 부분을 보완하는 방법에는 과연 어떤 것이 있는가. 단순히 컴퓨터가 가진 정보를 직선으로 이어 정보가 없는 부분은 직선적으로 변화한다고 생각해도 좋다. 혹은 곡선을 모델로 정보가 없는 부분이 곡선적으로 변화하도록 보완해도 좋다. 이처럼 본래와는 약간 다르지만 기본 성질을 잃지 않을 정도로 단순화하는 것을 근사라고 하며, 이로써 얻어지는 본래의 값과 충분히 가까운 값을 근사치라고 한다. 그리고 CFD에서는 이와 같은 근사 방법을 스킴이라 부른다.

그림 5-1-1 현실세계와 CFD 세계의 차이

●현실의 세계
전공간, 전시간에 정보가 있다

● CFD의 세계
제한된 공간과 시간밖에 정보가 없다

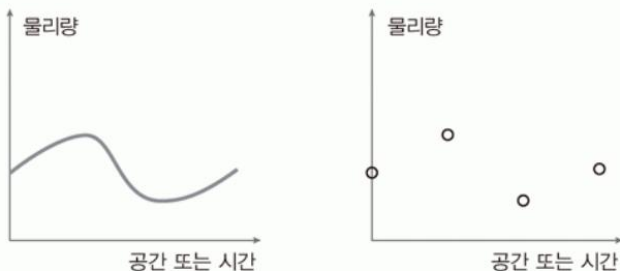
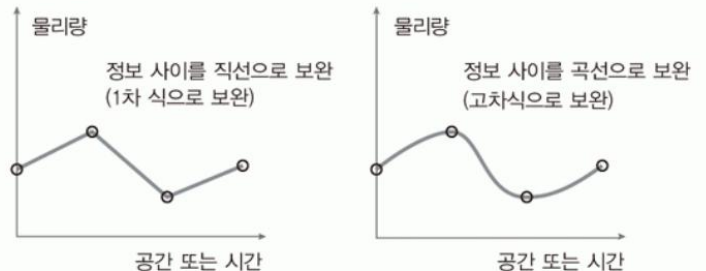



그림 5-1-2 컴퓨터에 없는 정보를 보완한다

CFD 세계에서 현실세계를 재구축하기 위해서는 컴퓨터에 없는 정보를 보완하는 스킴이 필요

Lax의 동치 정리

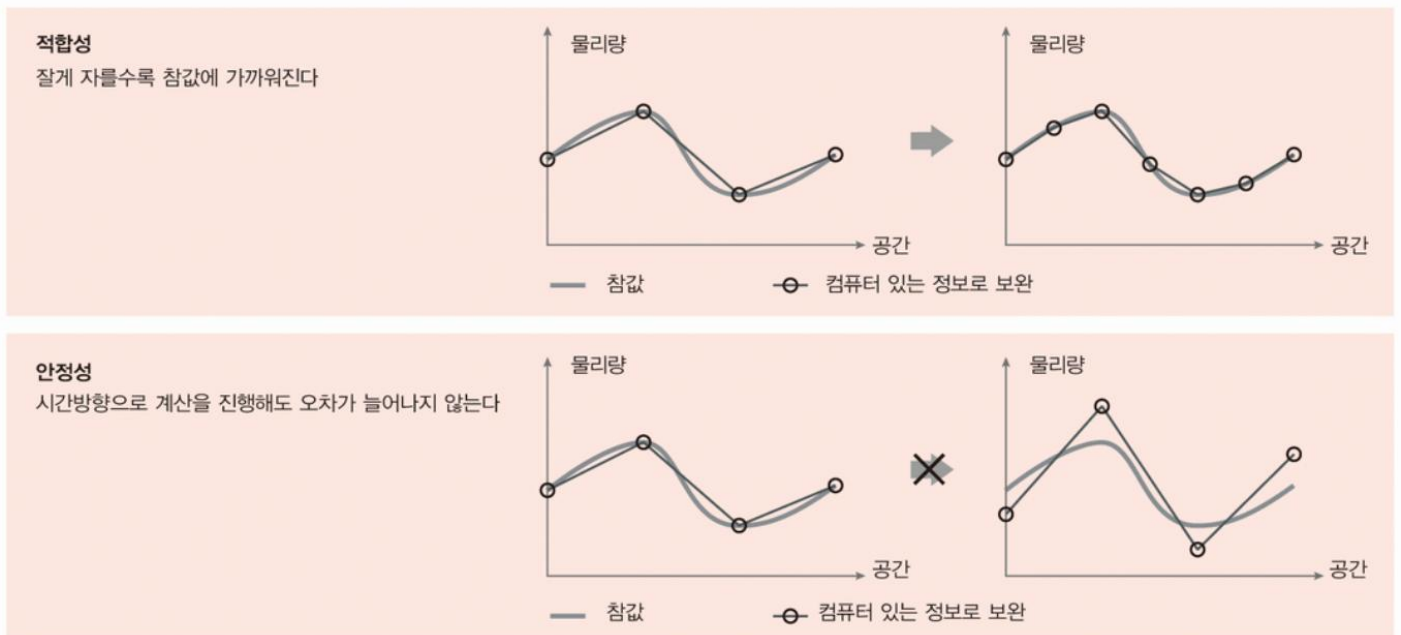
컴퓨터는 현실세계의 모든 시간과 공간의 정보를 가질 수는 없기 때문에 CFD를 통해 얻어진 계산결과는 근사치에 불과하다. 하지만 그렇다고 해도 참값과의 오차가 충분히 작다면 실용상의 문제는 없다. 예를 들어 어떤 흐름에서 평균유속이 30m/s라고 할 때 통상 0.000001 단위의 수치라면 마음대로 바꾸어도 의미가 없다. 30m/s와 30.000001m/s는 흐름을 해석하는 입장에서 보면 실질적으로 같은 값이라는 말이다. 따라서 흐름을 해석하는 사람에게 있어 의미가 없을 만큼 작은 자리수의 값은 무시해버리면 되고, 시뮬레이션에 의해 얻어진 결과에 포함된 오차 역시 필요로 하는 정밀도보다 낮다면 상관없다. 이것을 조금 전문적으로 바꾸어 말하면 시뮬레이션의 계산결과가 참값에 〈수렴〉하면 좋다는 것이다.

여기에서 중요한 정리를 소개한다. 그것은 페터 락스에 의해 증명된 Lax의 동치정리라고 불린다. 이 정리는 "수렴하는 유일한 스킴은 안정되며 적합한 스킴이다" 라고 말한다. 즉 안정성+적합성=수렴성이라는 관계가 Lax의 동치정리라고 할 수 있다. 〈적합성〉, 〈안정성〉의 의미 그림 5-1-4를 〈수렴성〉의 의미는 TIPS를 참조하길 바란다.

그림 5-1-3

TIPS 〈수렴한다〉라는 말은 공간을 세밀하게만 쪼갠다면 시간방향으로 계산을 진행시켜도 계산의 오차를 얼마든지 줄일 수 있음을 의미한다. CFD를 실시하는 경우 어떤 스킴을 사용해도 좋은 것이 아니라 적합성과 안정성을 충족시키는 스킴을 사용하지 않으면 계산은 수렴하지 않고 올바른 해답을 얻을 수 없게 된다.

그림 5-1-4 적합성과 안정성. 여기서 말하는 〈참값〉이란 유체의 편미분방정식을 해석적으로 풀었을 때에 얻어지는 해답이다.

5-2 유한체적법

▶ 가장 널리 이용되는 유체 시뮬레이션

그 동안 몇 가지 유체 시뮬레이션 기법이 개발되어 실제 활용되어 왔지만 여기에서는 현재 가장 널리 쓰이는 유한체적법을 소개한다.

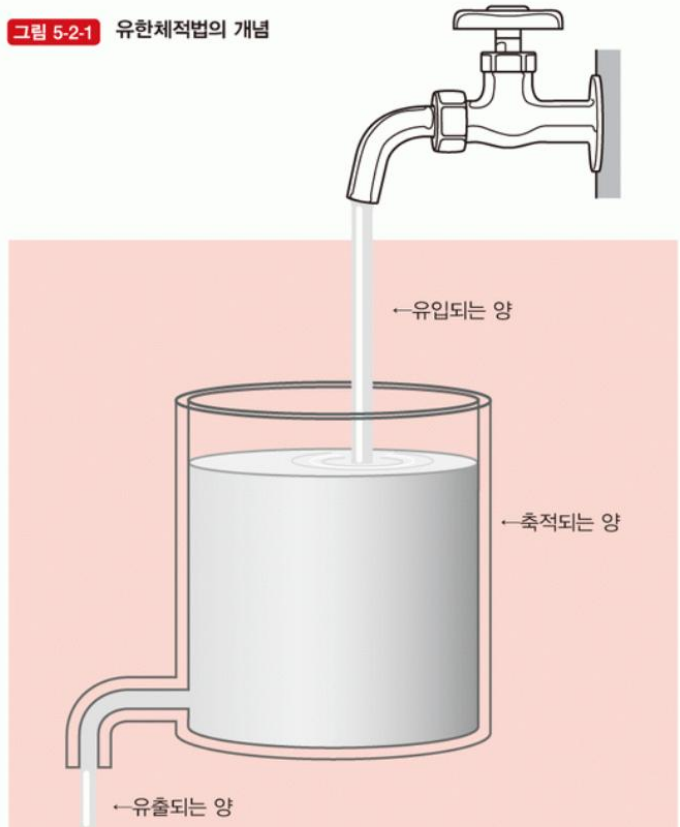
유한체적법의 개념

유한체적법은 분할된 각각의 공간요소에 대해 유입되는 양과 유출되는 양의 균형에 주목한다. 예를 들어 어떤 용기에 드나드는 물의 양을 생각해보자. 어느 순간부터 1초 후 그 용기에 얼마나 많은 양의 물이 들어있는지 알기 위해서는

1초 후에 용기에 있는 양=원래 들어있던 물의 양+1초 동안 유입되는 양-1초 동안 유출되는 양

와 같이 계산하면 된다. 이렇게 현재의 물의 양과 드나드는 물의 양에서 미래의 수량을 예측하는 것이 유한체적법의 기본 개념이다. 실제 유체 시뮬레이션에서는 유체의 양 뿐만 아니라 압력과 유속이라는 물리량을 같은 방법으로 계산하게 된다.

TIPS 차분법이나 유한체적법으로 하는 근사(스킴)는 테일러 전개식을 근거로 한다. 테일러 전개식은 곡선 함수를 급수전개로 표현하는 방법이다. 여기서는 설명하지 않겠지만 테일러 전개식은 CFD 이외에도 다양한 경우에 매우 중요한 수학이므로, 흥미가 있다면 찾아보는 것을 권한다.

그림 5-2-1 유한체적법의 개념

미래의 용기 안에 있는 물의 양을 예측하기 위해서는 용기에 들어가는 물의 양과 배출되는 물의 양의 균형을 관찰하면 된다. 이것이 유한체적법의 기본적인 개념이다. 그러나 용기의 유출입양을 간단히 정의하기는 어려우며 어떠한 방법으로 추측할 수밖에 없다. 유출입양의 추측의 정밀도가 유한체적법을 사용한 시뮬레이션의 정밀도를 크게 좌우한다.

수치유속

유한체적법을 좀 더 실제 CFD에 따라 구체적으로 살펴보자. 우선 그림 5-2-2처럼 공간을 잘게 분할한다. 이렇게 분할된 공간을 격자(혹은 그리드, 메시)라고 한다. 이 격자 사이를 흐르는 유체를 생각해 보자.

우선, 어느 시각에 각각의 격자(공간)가 갖는 물리량을 알고 있다고 하자. 그리고 이들 정보에서 미래의 격자가 가지게 되는 물리량을 단위 시간당 유출입하는 양으로부터 예측하는 것이 유한체적법에 의한 유체 시뮬레이션이다.

그렇다면 각 격자에 단위시간당 유출입하는 양은 어떻게 결정되는가.

사실 이들의 유출입양은 현재의 물리량 분포로부터 그럴듯한 값을 CFD를 실시하는 사람이 모종의 방법을 사용해 예측(근사)해야만 한다. 즉 그 양을 결정하는 방법에는 선택의 여지가 있다. 단위시간당 유출입양은 한가지로는 정의할 수 없는 것이다. 이처럼 사람에게 선택의 여지가 있는 단위시간당 유입유출 물리량을 수치유속이라고 부르며, 그 정밀도가 계산 결과의 정밀도를 크게 좌우한다.

그림 5-2-2 격자를 출입하는 수치유속

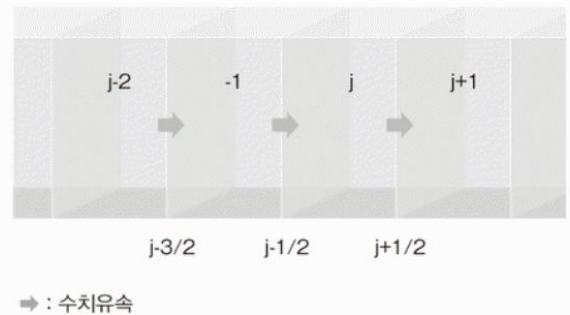
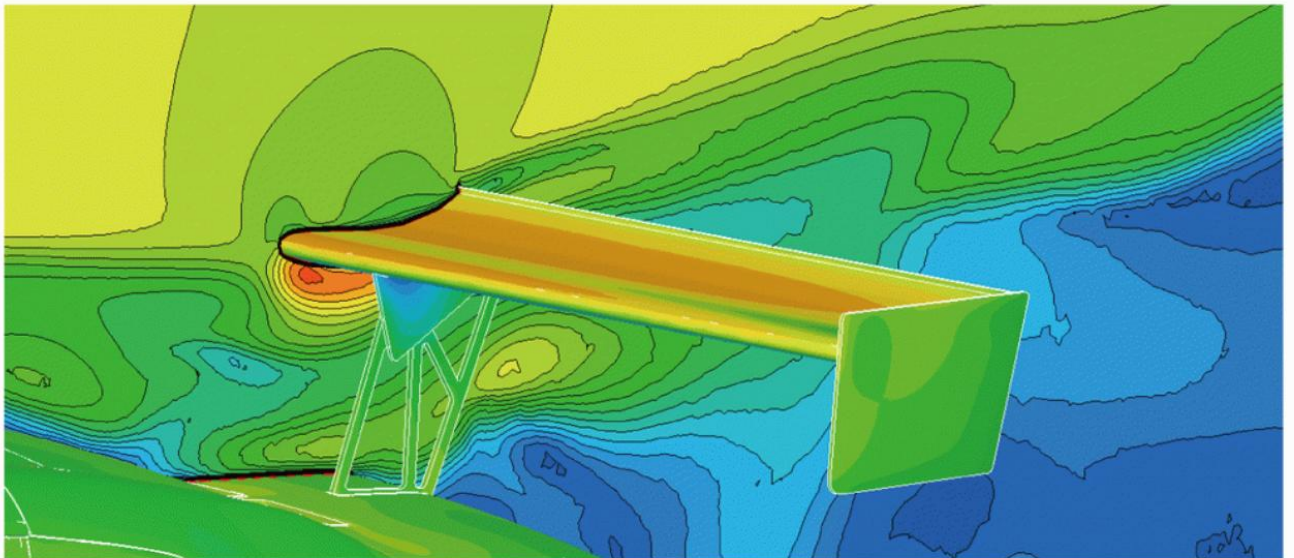
격자 j 의 미래의 물리량= 격자 j 의 원래 물리량
+ 격자 j 에 유입하는 수치유속 j−1/2
- 격자 j 에서 유출되는 수치유속 j+1/2

⇒ : 수치유속

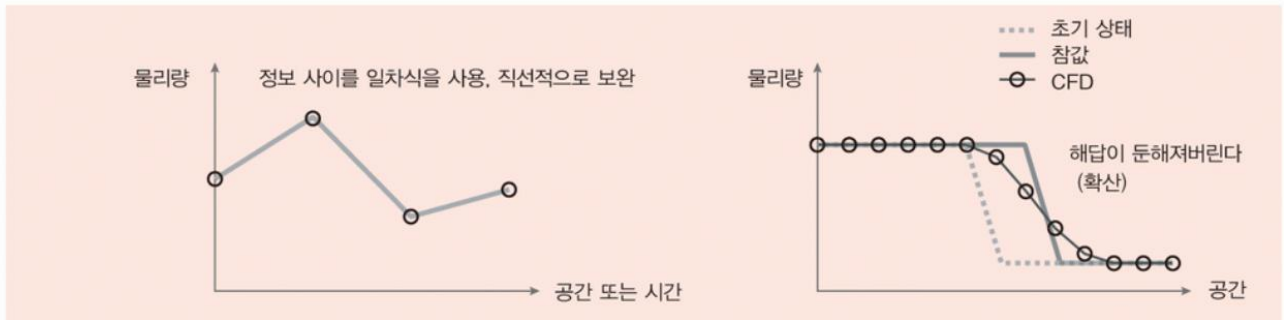
그림 5-2-3 레이싱카의 리어윙 주변의 흐름

5-3 스킴의 특징

▶ 단조로움과 높은 정밀도는 양립할 수 없다

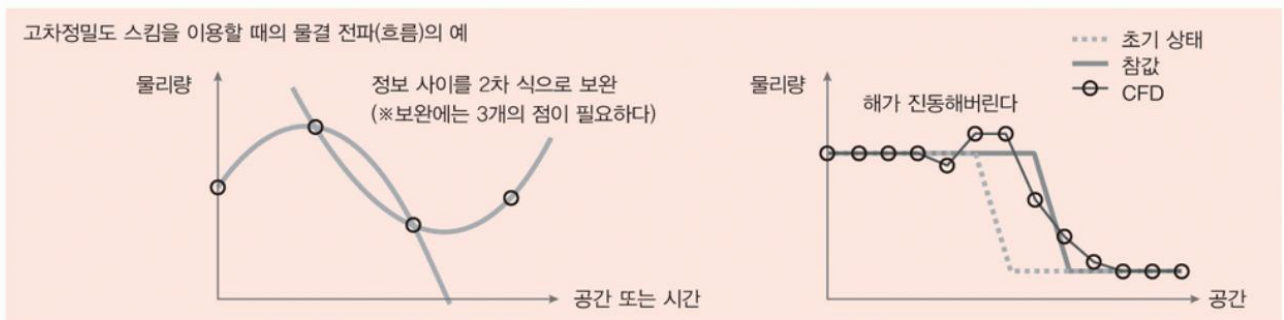
수치유속 정하는 방법에는 여러가지가 있으므로 CFD를 실시하는 사람이 적절한 스킴을 골라 결정해야 한다. 그런데 아무 스킴이나 사용해도 괜찮은 것이 아니다. 어떤 체계를 이용하는지에 따라 수치유속의 정밀도는 시뮬레이션 정밀도에 당연히 영향을 주고, Lax의 동치정리가 보여주듯 사용한 스킴이 나쁘면 계산을 진행할 때마다 오차가 커지면서 계산은 발산해버리기도 한다. 여기에서는 스킴의 차이가 결과에 어떻게 영향을 끼치는지 쉽게 설명한다.

일차정밀도의 스킴

컴퓨터에 없는 정보를 보완하는 방법으로서 가장 먼저 생각할 수 있는 것은 물리량의 변화를 직선적으로 근사하는 것이다. 직선적으로 변화하므로 일차식을 이용해 근사하면 이 스킴의 정도는 1차 정밀도가 된다. 1차 정밀도의 스킴은 단순함을 유지할 수 있다는 장점이 있지만 해답 확산하기 쉽다는 단점이 있다.

그림 5-3-1 1차정밀도의 스킴과 파도의 전파(흐름) 계산예. 1차 정밀도의 스킴은 고주파의 파도를 해석할 수 없으므로 해가 확산한다

고차정밀도의 스킴

일차식을 이용해 직선적으로 근사하는 것이 아니라 더 많은 격자에서 정보(물리량)를 취하고, 고차원의 곡선에서 근사한다면 보다 정밀한 결과를 얻는것 아니냐는 예상도 쉽게 해 볼 수 있다. 실제로 고차정밀도의 스킴은 통상 1차정밀도의 스킴보다 해답의 정밀도가 높다. 그러나 고차원으로 하는만큼 많은 격자에서 많은 물리량을 계산에 사용하므로 필연적으로 계산량은 늘어난다. 또한 고차정밀도의 스킴은 해답이 진동하게 되어 오히려 정밀도가 낮아지는 결점도 존재한다.

그림 5-3-2 2차정밀도의 스킴과 파도 전파(흐름)의 계산 예. 고차정밀도의 물결은 주파수에 따라 전파되는 파도의 속도가 다르기 때문에 파형이 깨진다

고두노프의 정리

흐름이 있는 장의 대부분에서는 고차원 정밀도의 스킴일수록 좋은 계산결과를 얻기 쉽다. 그러나 고차정밀도의 스킴에도 결점이 있다. 그것은 흐름의 불연속면처럼 급격히 변화하는 흐름을 고차정밀도 스킴으로 계산하려 하면, 해가 진동하게 되어 때로 비확실한 값 또는 불안정성을 초래할 가능성이 있다. 이와 같은 흐름의 장인 경우, 단순성을 유지할 수 있는 일차정밀도 스킴이 좋은 결과를 얻기 쉽다.

그렇다면 해가 진동하지 않는 고차정밀도의 스킴을 만들면 되지 않을까. 그러나 안타깝게도 스킴이 〈고정밀〉인 것과 〈해답이 단순하다(해답이 진동하지 않는다)〉를 양립시킬 수 없다고 수학적으로 밝혀졌다. 이를 Godunov(고두노프)의 정리라고 한다. 고두노프의 정리에 따르면 〈고정밀도〉와 〈해답이 진동하지 않는다〉를 동시에 만족시키는 스킴은 존재하지 않으며, 아무리 노력해도 그렇게 편리한 스킴은 만들 수 없다는 말이다.

그림 5-3-3 고두노프의 정리에 따르면 선형파동 방정식에 대해 고차 정밀도를 가진 어떤 스킴도 해답의 단조성(경사의 부호가 변화하지 않는 것)을 유지할 수 없다. 그래서 이를 해결하기 위해 비선형적 스킴이 구축되었다. 그 중 하나가 다음에 설명할 TVD법이다.

그림 5-3-4 불연속면 같은 급격한 흐름의 변화에 대한 스킴의 정밀도

5-4 일차정밀도와 고차정밀도의 양립

▶ 일차정밀도와 고차정밀도를 양립시키기 위한 노력

고두노프의 정리에 따르면 스킴이 〈고정밀도〉인 것과 〈해답이 진동하지 않는 것〉은 양립할 수 없음을 알 수 있다. 고차정밀도에 직접 어떤 가공을 더해도 해가 진동해버릴 가능성을 완전히 없앨 수는 없다. 그래서 해를 진동시키지 않는 정밀도가 높은 계산 결과를 얻으려면 다른 방법을 생각하지 않으면 안된다. 여기서 다음과 같은 방법을 소개하고자 한다.

TVD법

일차정밀도의 해의 정밀도는 그리 높지 않는 대신 해가 진동하지 않고 단조성을 유지할 수 있다. 한편 고차정밀도는 보통 일차정밀도보다 정밀성은 높지만 불연속면같은 급격히 변화하는 흐름을 풀면 해가 진동하여, 때로 비현실적인 값이나 불안정성을 초래할 가능성이 있다.

이렇게 일차정밀도와 고차정밀도에는 각기 장점과 단점이 있다. 따라서 흐름에 맞춰 각각의 장점만을 살린다면 더 나은 계산 결과를 얻을 수 있을 수 있다는 생각에서 나온 방법이 TVD법이다.

TVD법은 이른바 일차정밀도와 고차정밀도의 하이브리드 수법이다. TVD법은 흐름의 변화의 격렬함을 스스로 판단, 대부분의 흐름은 고차정밀도를 이용해 계산하고 흐름이 급격히 변화하는 장소에서는 일차정밀도로 전환해 단조성을 유지하는 방법이다.

그림 5-4-1 TVD법

●일차정밀도와 고차정밀도의 하이브리드법
●흐름에 따라 일차정밀도와 고차정밀도를 사용한다

	장점	단점
일차정밀도	단순성	해의 확산
고차정밀도	고정밀	해의 진동

⬇각각의 장점만을 살린다

TVD 법

TIPS 고차원정밀도의 스킴을 이용했을 때 발생하는 진동을 억제하는데 이용되는 방법에는 TVD 법 이외에도 몇 개 더 있다. 대표적으로 인공적 점성을 더하거나, MUSCL이라 불리는 기법도 있다.

TIPS TVD법처럼 흐름이 원활한 곳에서 고차원정밀도를 유지하고, 더구나 불연속 등을 선명하게 파악할 수 있는 스킴을 일반적으로 고해상도 스킴이라고 부른다.

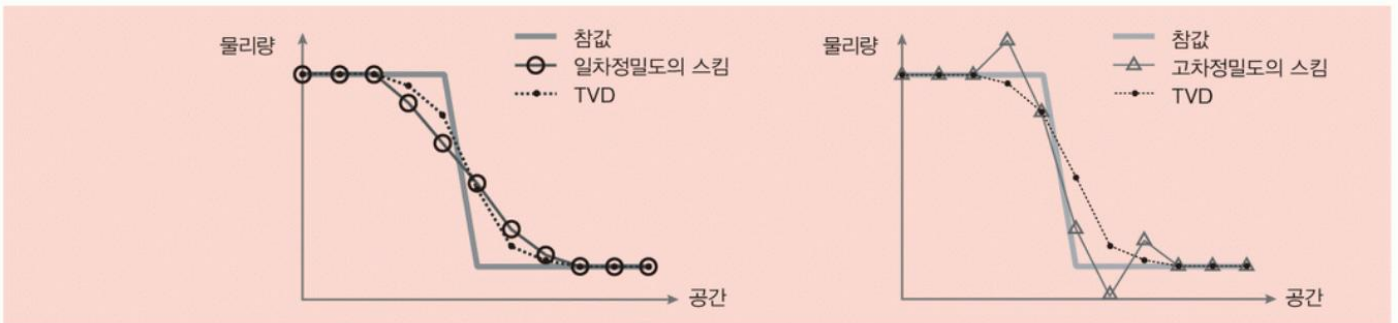
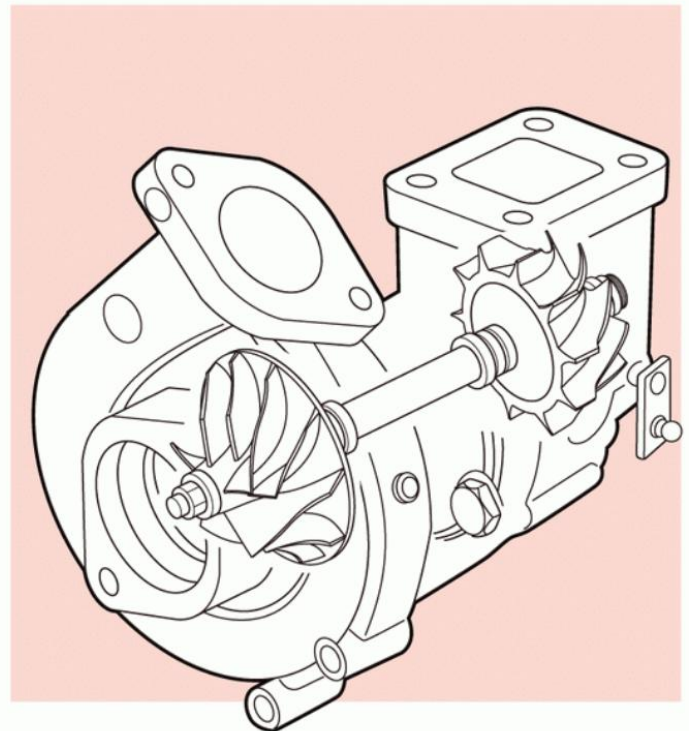
그림 5-4-2 TVD를 이용한 쪽이 더 참값에 가까운 결과를 얻는다

TVD법에 대한 평가

그림 5-4-2는 TVD 법의 계산결과를 일차정밀도 스킴의 값과 고차정밀도 스킴의 값으로 비교한 예이다. TVD 법은 고차정밀도 스킴처럼 비물리적인 오버슈트나 언더슈트와 같은 진동은 나타내지 않는다. 또한 일차정밀도 스킴보다 값의 확산이 억제된 것을 알 수 있다. 그러나 두 스킴 모두와 비교해도 TVD 법에 따른 값은 참값(엄밀해)에 가까운 것을 알 수 있다.

그러나 TVD 법은 흐름의 장의 변화를 판정하기 위한 작업을 필요로 하기 때문에 그만큼 별도의 계산시간이 필요해진다.

TIPS TVD 법은 충격파와 같은 불연속면을 푸는데 효과적이며, 특히 압축성 유체의 시뮬레이션에서 널리 사용되는 수법이다. 자동차에서는 엔진 계의 공기 흐름은 압축성 유체로 간주할 필요가 있다.

5 난류를 어떻게 해석할 것인가

▶ 엄청난 계산량을 줄이는 방법

소용돌이를 풀다

자동차가 주행하면 그 주위에는 난류가 발생한다. 난류는 크고 작은 다양한 공기의 소용돌이로 이루어져 있지만 아무리 단순한 소용돌이라고 해도 그 하나를 계산하기 위해서는 그림 5-5-1처럼 적어도 9개의 격자가 필요하다. 자동차 주위의 모든 소용돌이를 직접 계산하려면 엄청난 수의 격자가 필요하리라 쉽게 상상할 수 있다.

예를 들어 100km/h로 주행하는 자동차 주위에 생기는 난류를 구성하는 소용돌이를 다 해석하기 위해서는 적어도 10^13개, 즉 10조개의 격자가 필요하리라 예상된다. 그러나 세계 톱 클래스의 슈퍼컴퓨터를 자유롭게 사용할 수 있다면 몰라도 실제 자동차 개발 현장에서 이만한 계산을 실시하는 데는 현실적으로 무리가 따른다.

그림 5-5-1 2차원의 소용돌이를 해석하려면 최소한 9개의 격자가 필요하다

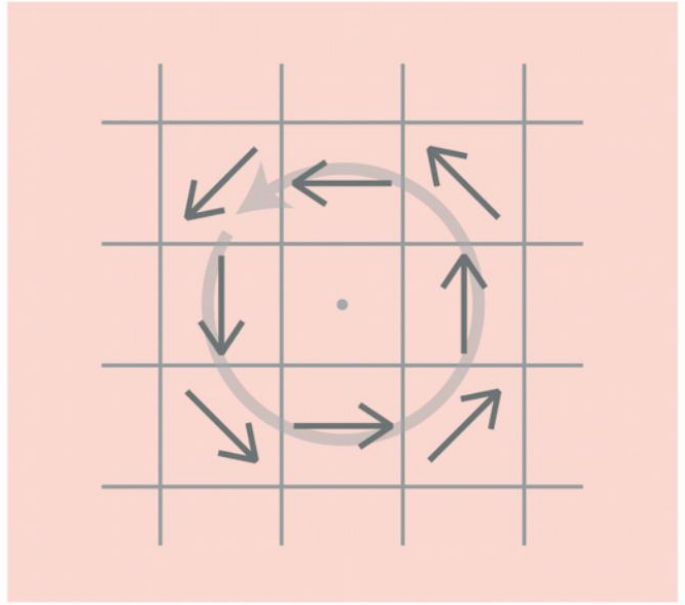
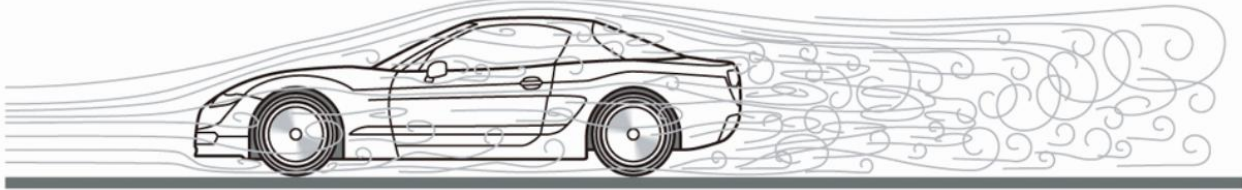



그림 5-5-2 난류와 소용돌이의 관계
난류는 크고 작은 소용돌이로 구성된다

난류 모델

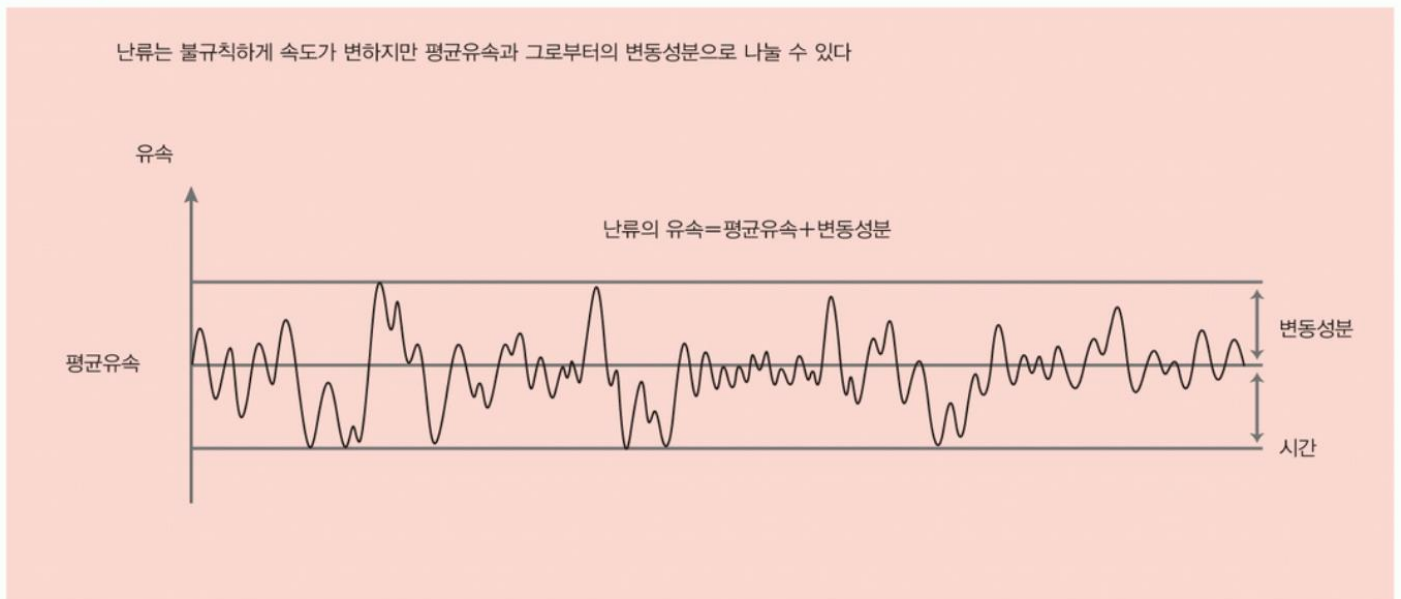
난류의 움직임은 나비에-스토크스 방정식으로 표현되지만, 그것을 완전히 해석하는 것은 불가능하기 때문에 난류의 특징적인 성질 몇 가지를 모델화하여 난류의 성질을 이해하려는 시도가 장기간 계속되어 성과를 올려 왔다. 그 성과를 기초로 한 난류 모델을 CFD에 도입, 난류에 의해 생기는 크고 작은 소용돌이를 모두 해석하는 것은 포기하는 대신 난류의 특징이 되는 부분만을 계산함으로써 계산량을 줄이는 것이 보통이다. 여기서는 현재 가장 널리 사용되는 RANS와 LES라는 난류모델을 소개하기로 한다.

TIPS 난류모델을 사용하지 않고 직접 유체의 방정식을 푸는 것을 DNS(Direct Numerical Simulation)이라고 부른다. 다만 서두에서도 말했듯이 완벽한 DNS를 실시하기 위해서는 아주 세세하게 공간을 분할하지 않으면 안된다. 게다가 공간을 작게 나누면 나눌수록 시간도 잘게 분할해야 하기 때문에 무지막지하게 방대한 계산량을 필요로 한다.

RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes)

RANS는 난류의 유속을 평균유속과 그로부터의 변동성분으로 나눈 난류 모델이다.

RANS는 비교적 계산량이 적기 때문에 가장 널리 사용되는 난류 모델이다. 그러나 비정상적인 흐름을 자세하게 재현할 수 없어, 박리 등을 정확히 계산하기 어렵다는 단점이 있다.

그림 5-5-3 RANS

LES (Large Eddy Simulation)

난류에서 지배적인 영향력을 갖는 것은 큰 소용돌이이며 크기가 작을수록 전체 흐름에 대한 영향력은 약해진다. 그래서 큰 소용돌이만을 직접 계산하고 작은 소용돌이는 모델화해 해석하는 방법을 LES라고 한다. LES는 RANS보다 매우 높은 정밀도로 흐름을 재현할 수 있지만 RANS보다는 압도적으로 계산량이 많아진다.

그림 5-5-4

Review:
Mechanism
2
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex
POLYPHONY

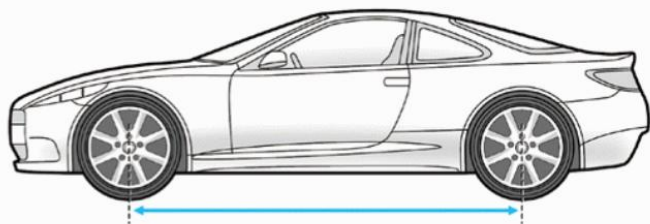
자동차의 기본요소

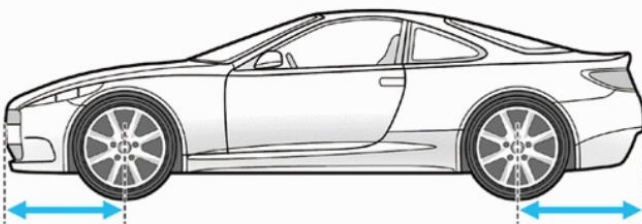
용도에 따라 다양한 자동차의 종류. 종류별로 성능과 특성은 완전히 다르다.
주어진 스펙은 모두 명확한 목적에 기초한 것.
우선은 자동차의 요소를 바르게 이해해야 한다.

차체 치수

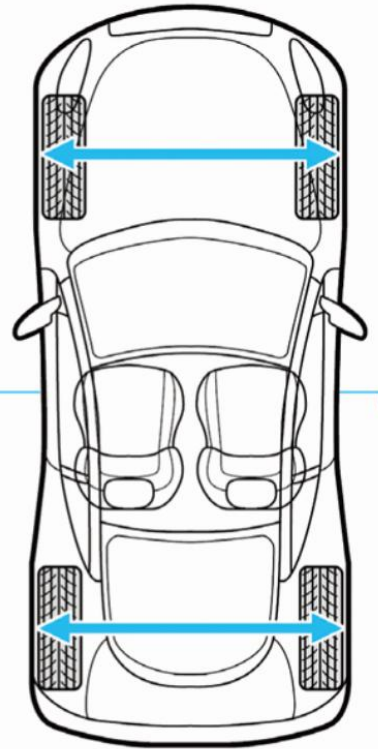
설계의 기초단계에서 결정되는 보디의 골격이나 기본적인 메커니즘 레이아웃은 기본성능이라 불리는 것으로 쉽게 바꿀 수가 없다. 이것이야말로 자동차의 3대 기능인 「달리고 돌고 멈춘다」에 큰 영향을 주는 "포텐셜"이며, 주행성능을 판별하는 중요한 판단기준이기도 하다. 이 기본성능 부분에는 튜닝으로 보완하기가 어려운 요소가 많으며, 약간의 스펙 차이로도 주행의 우열에 영향을 준다. 더욱이 튜닝을 통해 얻어지는 효과도 그 차 본래의 포텐셜에 따라 크게 변화한다. 각각의 스펙이 주행성능에 어떤 영향을 주는가를 여기서 확실히 기억해 두도록 하자.

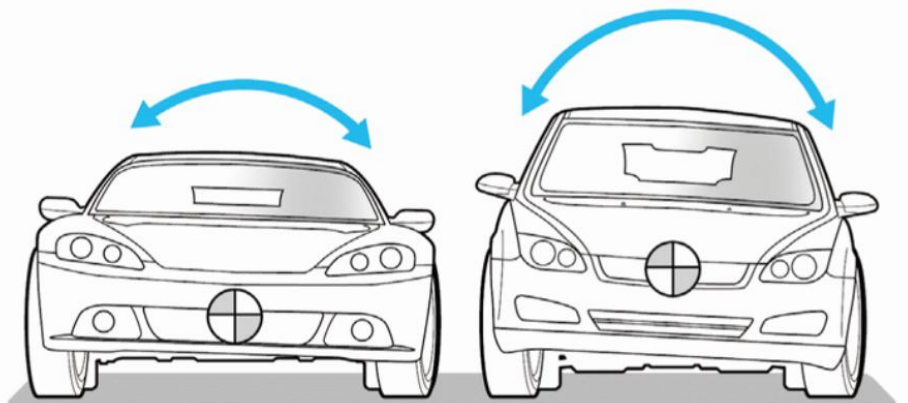
휠베이스
▶ Wheel base

차체를 옆에서 보았을 때 앞바퀴 중심에서 뒷바퀴 중심까지의 길이를 휠베이스라고 한다. 차의 주행안정성에 영향을 끼치며 길면 길수록 노면의 기복이나 횡풍의 영향을 적게 받고 직진안정성이 높아지는 경향이 있다. 일반적으로는 휠베이스가 짧으면 안정성이 나빠지는 한편 스티어링 조작에 대한 반응이 날카로워져 기민하게 코너를 돌아나간다. 승차감 면에서 이야기하자면 롱휠베이스는 보다 쾌적한 주행의 맛을 살려주며, 숏휠베이스는 그 반대의 경향이 강하다.

오버행
▶ Overhang

프론트휠 중심에서 프론트 범퍼 전단부까지를 프론트 오버행, 리어휠 중심에서 리어 범퍼 후단까지를 리어 오버행이라고 한다. 이 부분에 무거운 물체가 있으면 자동차의 요(Yaw) 관성 모먼트(선회를 방해하는 힘)도 커지므로 운동성능이 저하된다. 따라서 중량물은 가능한 한 휠베이스 안쪽으로 배치하는 구조가 이상적이며, 특히 엔진처럼 무거운 유닛은 중요하다. 다만 공력적인 처리를 위해서는 오버행이 어느 정도 길어야 한다.

09 주행을 결정하는 치수와 무게.

트레드
▶ Tread

좌우 타이어의 거리를 트레드라 부른다. 트레드를 넓히면 가상적인 중심의 높이를 낮추는 것이 가능하다. 일반적으로 트레드가 넓으면 코너링 시 타이어의 버티는 효과가 좋아지고 구동바퀴의 트레드를 넓히면 파워를 노면에 전달하는데 유리해진다. 레이싱카에서는 전후륜의 트레드폭을 다르게 하여 핸들링 특성을 튜닝하는 경우가 많다. 한편 휠베이스에 비해 트레드가 극단적으로 좁으면 핸들링이 빨라지는 반면 안정성이 떨어지는 경향이 강해진다.

차고
▶ Height

노면에서 차의 가장 높은 부분까지의 높이를 말한다. 차고가 낮으면 중심높이가 낮아지기 때문에 코너링 때의 롤(차체의 횡방향 기울어짐)을 억제하여 선회속도를 높일 수 있다. 한편 차고를 낮추면 실내의 거주성은 나빠진다. 또 서스펜션의 스트로크량(압축하고 신장하는 양)의 확보가 어려워 서킷의 연석 등에서 바닥침(완전하게 수축되어버리는 것)을 일으키는 원인이 되기도 한다.

차량중량
▶ Weight

자동차의 운동성능을 좌우하는 매우 중요한 요소. 차가 가벼우면 엔진 부담이 줄어 동력성능 면에서 유리해진다. 또 브레이크에 대한 부하가 줄어들어 제동력이 높아지며, 관성에 의한 부담이 줄어들어 코너링이 경쾌해지는 등 그 메리트는 이루 헤아릴 수 없다. 차중을 최고출력으로 나눈 수치를 「파워 웨이트 레이쇼」라 부른다. 이 수치가 적을수록 코너에서의 가속을 포함해 가속성능이 날카로워져 스포티한 달리기가 가능해진다. 한편 연비를 향상시키는 효과도 매우 커, 환경성능이라는 관점에서도 경량화는 현 시대의 신차 개발 시의 중요한 테마가 되고 있다.

중량 밸런스와 구동방식

보디 사이즈와 같은 기본 스펙으로 「구동방식」이 있다. 구동방식은 엔진의 탑재위치와 구동하는 타이어의 위치로 결정되며 일반적으로 FF, FR, MR, RR 등으로 표시된다. 자동차에서 가장 중요한 파트인 엔진을 차체 어디에 두고 어느 타이어를 구동하는가는, 차의 중량 밸런스를 결정하는 중요한 요인이다.

중량 밸런스가 좋은 차는 엔진 파워를 효율적으로 구동바퀴로 전달하는 것이 가능하며 발진/가속성능에서 유리하다. 브레이킹에서도 극단적인 앞쏠림이 적고 확실한 감속이 가능하다.

중량 밸런스가 가장 영향을 미치는 부분은 코너링이다. 원심력에 의해 차가 불안정해지기 때문에 중량 밸런스가 적정하지 않은 차의 경우, 선회 스피드를 올리면 스핀할 가능성이 있다.

기본적으로 중량 밸런스는 전후와 좌우 모두 50:50이 이상적이다. 엔진을 보디 앞에 두고 뒷바퀴를 구동하는 FR은 이 50:50을 실현하기가 쉽다. 한편 앞에 엔진과 구동계가 모여있는 FF(와 FF 베이스의 4WD)는 앞이 무거운 경향이 있고, 반대로 엔진과 구동계가 보디 뒤에 몰려있는 RR은 뒤가 무거워지기 쉽다. FF 중에는 중량배분을 개선하기 위해 주류인 가로배치 대신 엔진을 세로방향으로 배치한 모델도 존재한다.

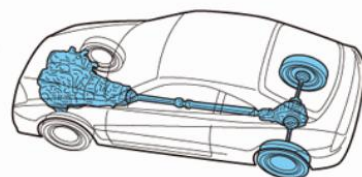
다만 중량 밸런스에 의한 핸디캡은 절대적인 것은 아니며, 세팅이나 운전기술로 어느 정도 커버할 수 있다. MR 레이싱카가 중량 밸런스가 우수한 FR을 이길 수 있는 이유도 이런데 숨어있다.

조종성과 직결되는 기초 구조.

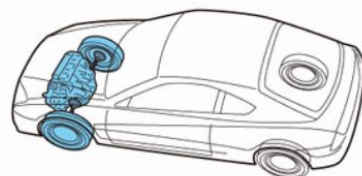
구동방식의 종류

FR

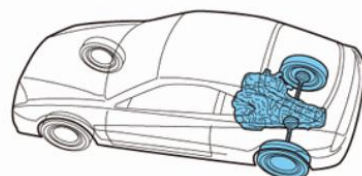
▶ Front engine -Rear drive

승객실 앞에 엔진을 얹고 뒷바퀴를 구동하는 전통적인 레이아웃. 50:50의 이상적인 전후중량배분을 가장 실현하기 쉽다. 우수한 핸들링에 더해 조타륜과 구동륜이 분리되어 있기 때문에 조타감각(스티어링을 꺾는 감각)이 좋은 것이 장점. 다만 노면상황에 따라서는 트랙션(구동력)이 잘 걸리지 않는 측면도 있다.

FF

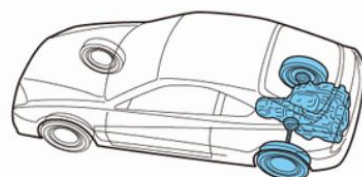
▶ Front engine -Front drive

프론트 엔진으로 앞바퀴를 구동하는 방식. 무거운 엔진과 변속기를 모두 보닛 속에 수납하는 구조이기에 넓은 승객석을 확보할 수 있지만 앞이 무거워지는 것을 피할 수 없다. 더욱이 앞바퀴가 구동과 조타를 겸하기 때문에 코너링 시에는 타이어의 그립력을 선회와 구동에 나누어 사용해야만 한다. 대체로 고출력차에는 어울리지 않는 레이아웃이라 할 수 있다.

MR

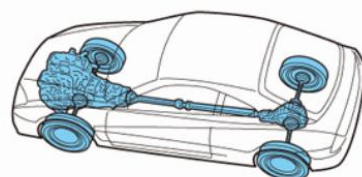
▶ Mid engine-Rear drive

엔진을 차체 중앙에 마운트하고 뒷바퀴를 구동하는 방식. "미드십"이라고도 불린다. 엔진을 차체 중앙 가까이에 배치함으로써 차의 중심으로부터의 거리가 짧아 샤프한 코너링 성능을 발휘할 수 있다. 전후 타이어는 가속, 감속 모두에서 최대의 그립을 발휘한다. 달리기에 가장 유리한 퓨어 스포츠카, 레이싱카에서 많이 사용하는 구동 레이아웃이다.

RR

▶ Rear engine-Rear drive

뒷바퀴 뒤쪽 리어 오버행 부분에 엔진을 탑재하고 뒷바퀴를 구동한다. 뒤가 무거운 리어 헤비의 중량 밸런스가 되지만, 엔진과 변속기의 무게로 뒷바퀴가 노면에 눌리기 때문에 트랙션을 얻기 쉽고 가속성능이 우수하다. 반면 앞쪽에 하중이 걸리지 않으므로 코너링 초기에 언더스티어가 나기 쉽다. 또 뒷바퀴 하중이 큰 만큼 리어 타이어가 한계를 넘어설 때의 미끄러짐이 급격하고 그립을 회복하는데 높은 운전 기술이 요구된다.

4WD

▶ Four wheel drive

기본적으로 전후좌우 네 개의 타이어로 구동하는 방식. 기계적인 중량증가를 제외하면 발진과 가속에 가장 적합한 구동 레이아웃이다. 다만 높은 안정성에 반해 날렵하게 코너를 돌아나가지 못하는 경우도 있다. FF, FR, MR, RR 등 모든 레이아웃에서 4WD화가 가능하지만 어느 레이아웃을 베이스로 하는가에 따라 조종성능은 크게 다르다. 일반적으로는 앞뒤바퀴 중 하나를 구동륜으로 하고, 그 타이어가 슬립하면 다른 쪽에 토크를 배분하는 방식이 주류를 이룬다.

자동차의 심장부

자동차의 구성부품 중에서 가장 큰 역할을 담당하는 엔진. 그 메커니즘을 파악하는 것이 올바른 조작으로 이어지고, 결과적으로 성능을 100% 발휘할 수 있게 된다.

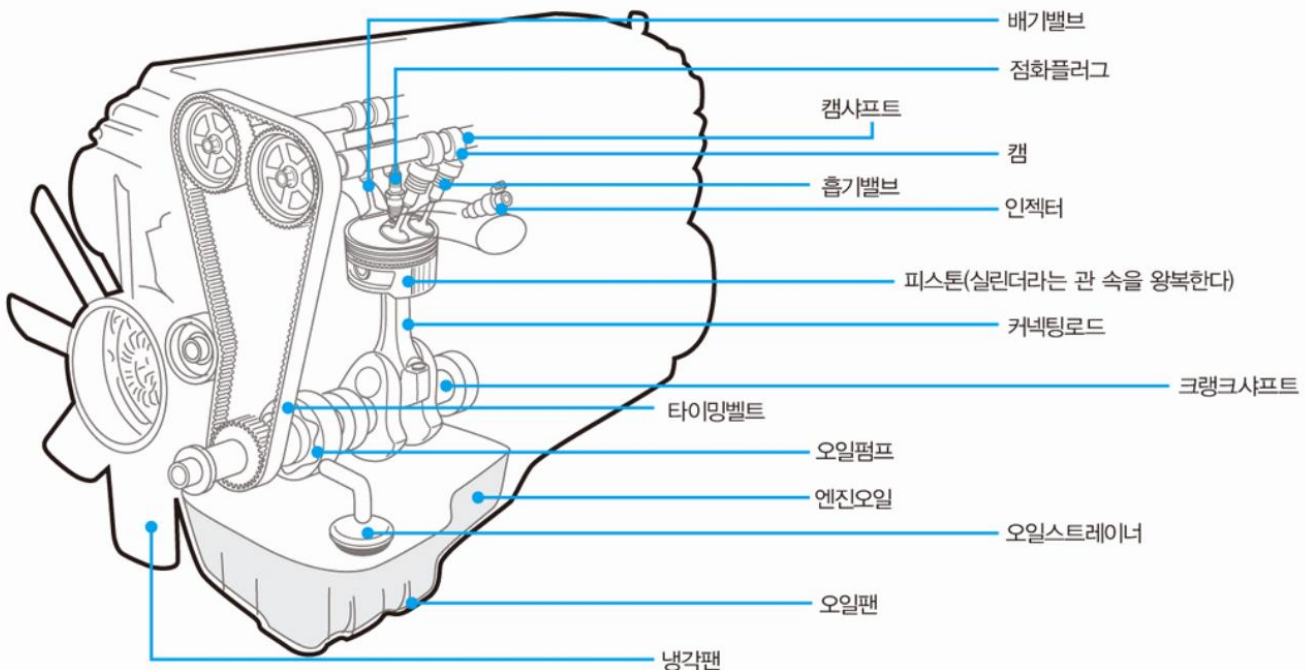
구조와 원리

대부분의 가솔린 엔진차는 4사이클의 왕복형 엔진을 탑재하고 있다. 왕복형 엔진에는 실린더가 있고, 실린더 속을 피스톤이 왕복운동하며 동력을 만들어낸다. 4사이클이라는 것은 그 왕복운동이 흡입-압축-연소-배기의 4가지로 나뉘어 있어 붙여진 명칭이다.

4사이클 엔진의 행정을 설명해 보면, 우선 피스톤이 실린더 상사점에 이르기 직전에 흡기밸브가 열린다. 상사점에 달한 피스톤이 내려가기 시작하면 실린더 내부 압력이 낮아지므로 열린 흡기밸브에서 공기와 가솔린 혼합기체가 빨려 들어온다. 피스톤이 가장 아래까지 내려가면 흡기행정이 종료되고 압축행정이 진행된다. 모든 밸브가 닫힌 실린더 속에서 피스톤이 혼합기체를 압축하다.

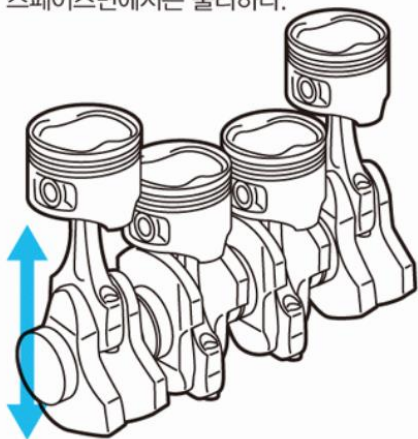
혼합기체를 압축한 피스톤이 정점을 조금 지난 곳에서 점화 플러그가 불을 붙인다. 이것이 연소다. 이 때 가솔린 엔진의 실린더 내부는 2,000℃, 200기압에 달한다. 그 고온고압의 에너지가 피스톤을 밀어내려 크랭크샤프트를 돌리면 회전 에너지가 만들어 진다.

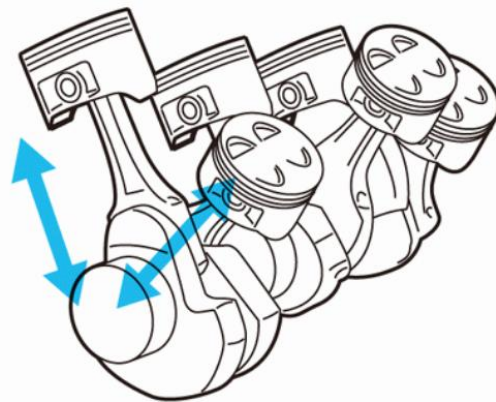
피스톤이 밑으로 내려가면 배기 밸브가 열려 배기행정이 된다. 여기에서는 피스톤이 밀어낸다기 보다는 배기가스가 자체의 고온고압 에너지에 의해서 배기밸브에서 배출된다. 그리고 정점에서 흡기밸브가 열려 다시 흡기행정으로 되돌아온다.

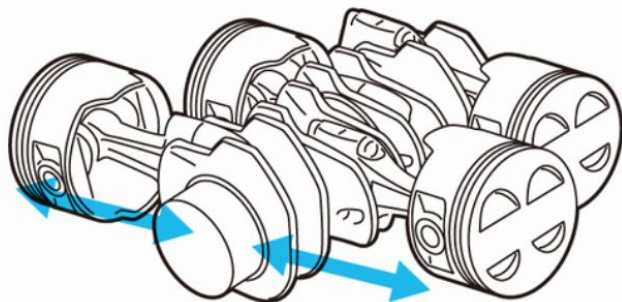
4사이클 엔진은 이러한 행정을 통해 아이들링 상태에서도 1분에 수백 회, 스로틀 전개상태에서는 1분에 수천 번에 이르는 스피드로 크랭크샤프트를 돌려 파워를 만들어내는 것이다.

엔진은 어떻게 움직이는가?

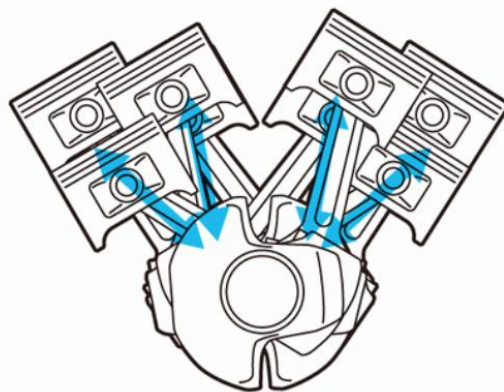
실린더 배열의 종류

직렬형
▶ In-line engine

복수의 실린더를 일렬로 배치하는 형식. 밸브 개폐를 관리하는 캠샤프트와 실린더에서 만들어진 동력을 회전운동으로 전환시키는 크랭크샤프트 모두를 실린더에서 공유해, 실린더 블록도 일체화시킬 수 있기 때문에 구조가 심플하고 비교적 경량으로 만들 수 있다는 메리트가 있다. 다만 기통수가 많아지면 길어지기 때문에 스페이스면에서는 불리하다.

V형
▶ V engine

실린더를 좌우교대로 V자 형태로 레이아웃하는 형식. 크랭크샤프트의 길이를 짧게 만들 수 있어 기통수가 많은 엔진이라도 사이즈를 컴팩트하게 만들 수 있는 것이 이점이다. 기통수에 상관없이 진동이 적고, 짧은 실린더 블록과 크랭크샤프트는 강성 면에서도 우수하다.

수평대향형
▶ Flat engine

실린더를 좌우교대로 수평으로 배치한 형식. 크랭크샤프트를 중심으로 실린더가 좌우로 마주하기 때문에 대향하는 피스톤이 좌우대칭으로 움직이는 모양이 복싱에서 펀치를 마주치는 것과 비슷하다고 해서 "복서 엔진"으로도 불린다. 엔진 높이가 낮아 저중심화에도 유리하게 작용한다.

W형
▶ W engine

본래, 1개의 크랭크샤프트에 대해 3열 실린더를 부채처럼 배치한 엔진을 뜻했지만 현재에는 협각 V형 엔진을 2기 조합한 것도 W형이라고 부른다. V형 엔진보다 폭이 넓지만 12기통 이상의 다기통에서는 크랭크샤프트 길이(=엔진 길이)를 단축한다는 이점이 크다.

밸브 구동방식

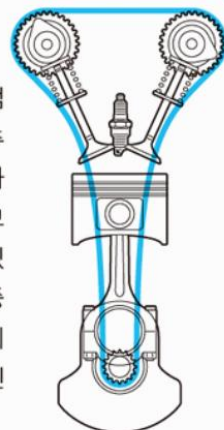
4사이클 엔진에는 흡기행정에서 열려 외부에서 혼합기체를 빨아들이는 흡기밸브와, 배기행정에서 열려 연소가스를 밖으로 내보내는 배기밸브가 있다. 밸브는 실린더 헤드에 달려 있으며 연소실과 외부를 타이밍에 맞추어 차단하거나 연결하는 역할을 담당한다.

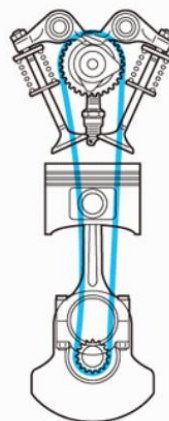
현대의 엔진에서는 캠샤프트가 엔진 위에 배치되는 것이 일반적으로, 보다 정확한 밸브 구동을 실현하고 있다. 밸브의 개수는 흡기 2, 배기 2의 4밸브가 대부분이지만 저회전에서 연소효율을 추구한 흡기 1, 배기 1의 2밸브도 앞으로 부활하게 될 것이다.

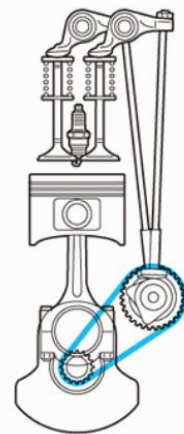
최근 트렌드로는 가변 밸브타이밍 기구가 있다. 초기에는 저회전역과 고회전역에서 밸브타이밍을 전환하는 방식이었으나 그 후 엔진 회전에 따라 밸브 타이밍과 리프트량을 연속적으로 조절할 수 있도록 진화되었다. 나아가 BMW의 밸브트로닉이 도화선이 된 최신 가변 밸브타이밍 기구에서는, 스로틀 밸브를 사용하지 않고 출력조정을 하기 때문에 보다 높은 효율을 이끌어내는데 성공하였다.

밸브 구동방식의 종류

DOHC
▶ Double Over Head Camshaft

DOHC라는 것은 「더블 오버헤드 캠샤프트」의 약자로, 캠샤프트를 2개 갖추어 흡기측과 배기측 밸브를 따로 구동하는 방식을 말한다. 캠의 부담이 줄어들므로 밸브 개폐를 보다 정확하게 할 수 있다는 점 외에 밸브 주변의 운동부품 중량(=관성)을 줄여 고회전이 가능하기에 고출력을 내기 쉽다. 대부분의 고성능 엔진에서 채용하고 있다.

SOHC
▶ Single Over Head Camshaft

실린더 헤드에 1개의 캠샤프트를 갖춘 방식이 이 「싱글 오버헤드 캠샤프트」다. 연소실 형상에 따라 캠샤프트가 밸브를 직접 구동하는 것과 캠샤프트에서 로커암이라는 시소 모양 부품을 통해 밸브를 구동하는 방식이 있다. OHV에 비해 밸브 추종성이 높아 고회전화가 가능하다. DOHC에 비하면 밸브 추종성에서 불리하다고 할 수 있지만 SOHC에서도 고회전형 엔진은 존재하기 때문에 일률적으로 뒤떨어진다고는 말할 수는 없다.

OHV
▶ Over Head Valve

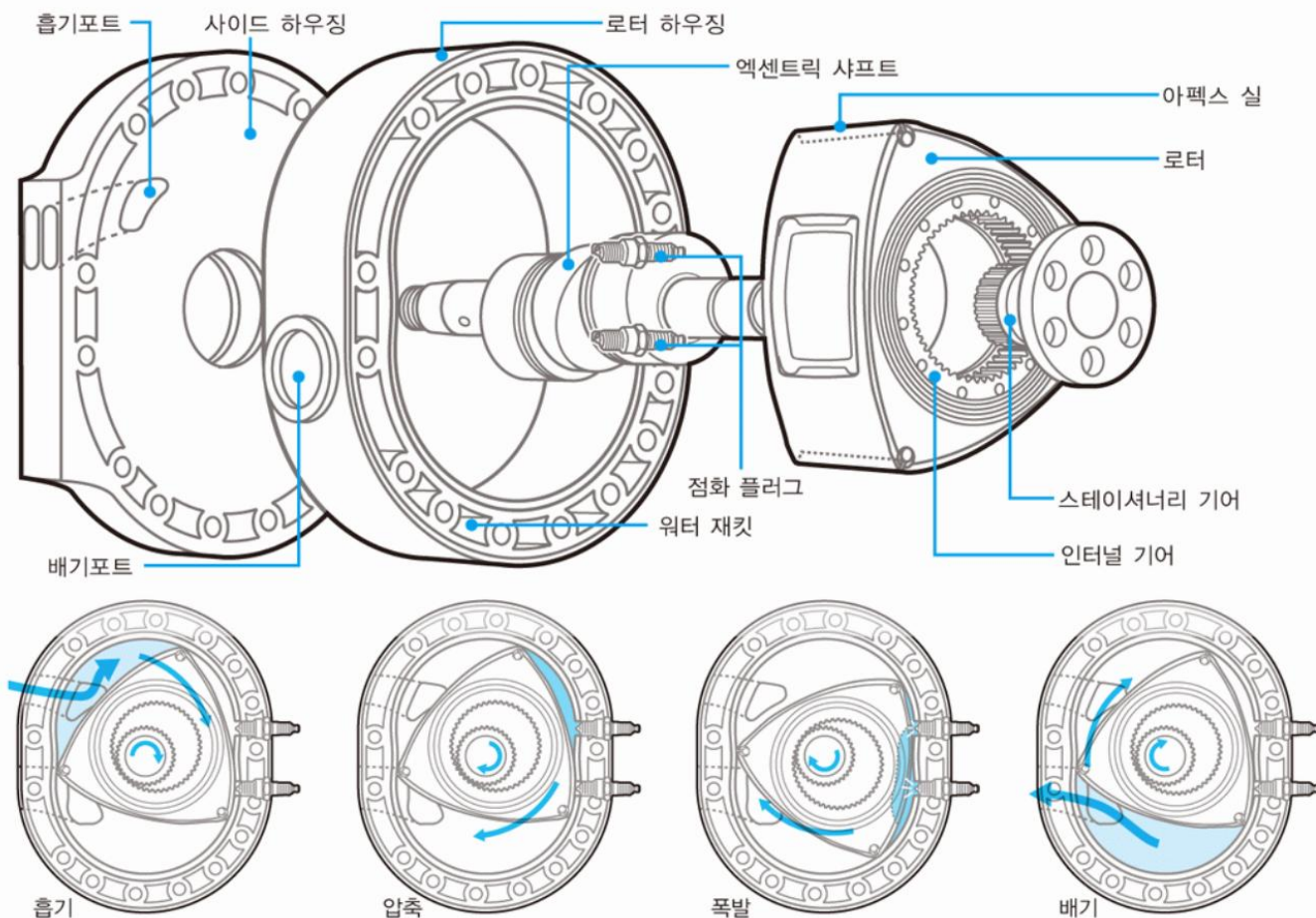
「오버헤드 밸브」는 그 이름대로 밸브기구를 실린더 헤드 위에 설치한 형식이다. SOHC, DOHC와의 차이점이라면 캠샤프트가 머리 위가 아니라 실린더 옆에 배치되어 있고 여기에서 푸시로드라 불리는 긴 봉과 로커암을 통해 밸브를 구동한다는 점. 구조가 심플하므로 정비성이 우수한 반면 고회전에서 밸브 추종성이 좋지 않아 고출력화에는 불리하다.

로터리 엔진

로터리 엔진도 왕복형 엔진과 마찬가지로 흡입공기를 빨아들인 후 압축해 연소시키고 배기하는 행정을 반복함으로써 회전 에너지를 얻는다. 다만 왕복형 엔진과는 그 행정에 근본적인 차이가 있다.

로터리 엔진에는 실린더를 대신하는 로터 하우징이라는 누에고치 모양의 공간이 있고 거기에 삼각형의 로터가 조합되어 있다. 이 로터가 편심으로 회전함으로써 로터와 로터 하우징 사이에 만들어지는 공간의 크기가 변화하고, 여기에서 압축, 연소, 배기의 행정이 이루어진다. 통상 1기의 로터리 엔진에는 이 로터 하우징이 2개 혹은 3개 조합되어 있다.

일반적인 엔진에서는 복수의 피스톤이 왕복운동을 하기 때문에 힘의 제어가 어렵고, 그것이 진동이나 소음을 만들어내는 원인이 된다. 하지만 로터리 엔진은 기본적으로 회전운동을 하기 때문에 스무스하고 부드러운 필링을 얻을 수 있다. 밸브도 없으므로 구성품을 대폭 줄일 수 있다는 점도 장점이다. 최근에는 왕복형 엔진이 경량화되었기 때문에 예전처럼 가벼움을 어필하기 어려워졌지만 컴팩트하다는 점은 여전하다.

로터리의 흡기계 타이밍은 로터 하우징의 벽면이나 측면에 설치된 포트(혼합기체의 통로)의 형태에 의해 결정된다. 로터리 엔진의 흡기계 튜닝은 그 포트 위치나 형태를 변화시킴으로써 이루어진다. 또 로터리 엔진에는 배기밸브가 존재하지 않아, 배기 에너지를 직접 배기포트로 배출할 수 있기 때문에 터보차저와의 상성이 우수한 것도 장점이다.

한편 로터리 엔진은 왕복형에 비해 연비면에서 불리하다. 이것은 연소실 용적에 비해 표면적 비율이 커, 열이 쉽게 달아나게 되어 회전 에너지로 전환되는 비율이 낮기 때문이다.

과급기

엔진은 많은 공기를 흡입할 수 있다면 그만큼 파워를 올리는 것이 가능해진다. 가장 단순한 방법은 배기량을 확대하는 것이다.

그러나 배기량을 바꾸지 않고도 배기량을 늘린 것과 같은 효과를 낼 수 있게 해주는 것이 있다. 바로 과급기다. 과급기는 크게 나누어 슈퍼차저와 터보차저가 있는데 양쪽 모두 흡기를 엔진에 밀어넣어(과급) 배기량 확대와 같은 효과를 구현하는 것이다.

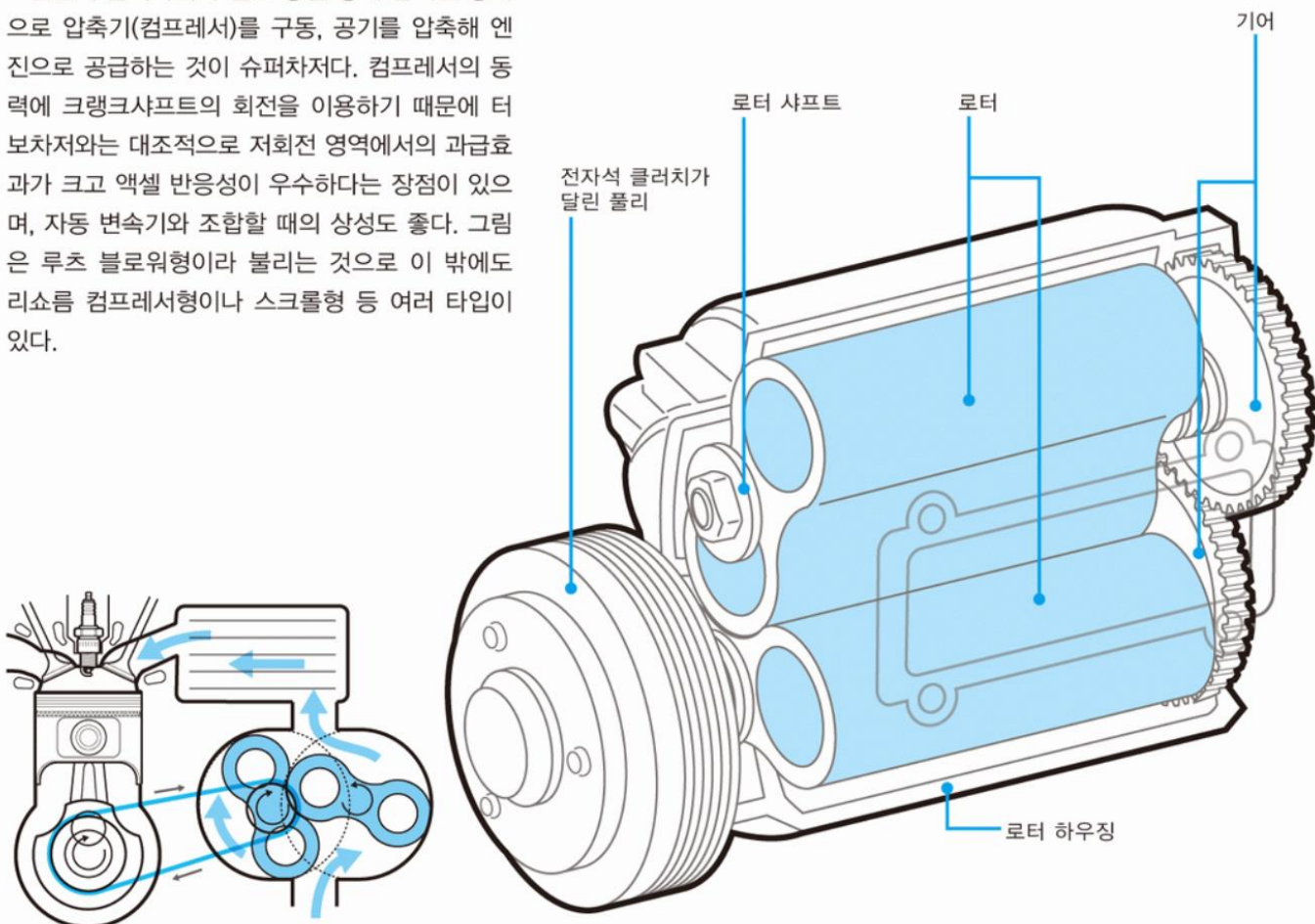
공기를 압축할 때의 압력을 과급압=부스트압이라고 부르며, 과급압을 높이는 만큼 파워도 커진다. 대기압이 1기압일 때 이것을 1bar, 혹은 1kg/cm^{2}라는 단위로 표시하며, 과급압이 1bar가 되면 대기압과 합쳐 2bar, 즉 2배의 공기가 엔진에 들어간다는 뜻이다.

과급기의 단점은 과급압을 높이는만큼 연소 에너지가 높아져 엔진 손상이 커진다는 것. 이상연소가 발생할 수도 있다. 이 때문에 과급기가 달린 엔진에서는 이상연소를 억제하기 위해 내부 부품의 강도를 높이거나 압축비를 낮추는, 대책이 실시되는 경우가 많다.

또 공기는 압축하면 뜨거워져 밀도가 낮아진다. 고부하 운전이나 여름철에는 그러한 경향이 더욱 강해지며 연소에서 큰 폭발력(=출력)을 얻을 수 없게 된다. 「흡기온도가 1

슈퍼차저

▶ Supercharger

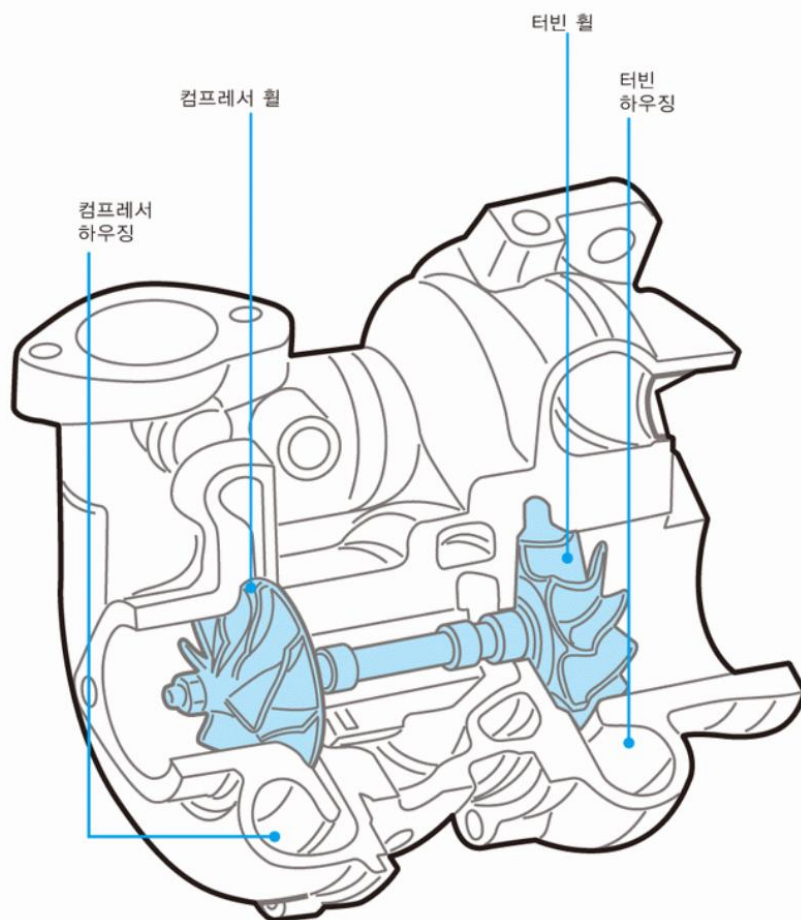
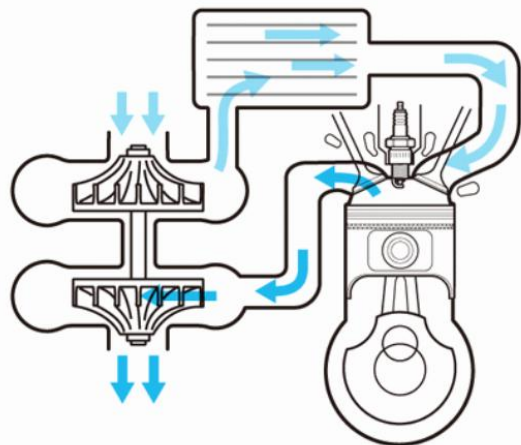
엔진의 출력축에서 벨트 등을 통해 끌어낸 동력으로 압축기(컴프레서)를 구동, 공기를 압축해 엔진으로 공급하는 것이 슈퍼차저다. 컴프레서의 동력에 크랭크샤프트의 회전을 이용하기 때문에 터보차저와는 대조적으로 저회전 영역에서의 과급효과가 크고 액셀 반응성이 우수하다는 장점이 있으며, 자동 변속기와 조합할 때의 상성도 좋다. 그림은 루츠 블로워형이라 불리는 것으로 이 밖에도 리쇼름 컴프레서형이나 스크롤형 등 여러 타입이 있다.

배기량 증가와 같은 효과를 발휘.

도 상승하면 약 1ps 손실된다」고 하며, 압축공기를 식히기 위한 인터쿨러 장착은 이미 상식이 되어 있다.

터보차저는 배기 에너지로 과급기를 구동하기 때문에 부스트압이 발생할 때까지 시간차(타임랙)가 발생한다. 한편 엔진의 크랭크샤프트를 동력원으로 하는 슈퍼차저는 타임랙과는 무관하지만 엔진 자체의 파워가 약간 손실된다는 단점이 있다.

최근에는 저회전에서는 슈퍼차저, 고회전에서는 터보라는 식으로 둘을 조합해 상호 메리트를 추구한 과급 엔진도 각광을 모으고 있다.

터보차저
▶ Turbocharger

터보는 터빈을 의미하며, 일반적으로는 머플러를 통해 방출되는 배기가스의 압력을 이용해 터빈을 구동하는 과급기를 뜻한다. 배기가스의 에너지를 사용하기 때문에 슈퍼차저처럼 고회전 영역에서 구동로스가 증가하지 않는다. 그 대신 배기가스의 에너지가 낮은 저회전 영역에서는 터빈이 돌지 않고 거기에서 가속하려 해도 터빈 회전이 오르기까지는 시간이 필요하다. 이것이 흔히 말하는 터보 래그의 원인으로, 이를 해결하기 위해 다양한 시스템이 고안되고 있으며 진화를 거듭하고 있다. 유럽에서는 터보를 사용함으로써 연비를 높이는 다운사이징 엔진이 연이어 등장하고 있다.

하이브리드 시스템

「엔진과 모터를 함께 사용해 연비를 향상시킨다」는 것이 하이브리드 시스템의 목적이다. 일본이 세계를 선도하며 만들고 있는 하이브리드카는 에코카 일변도였으나, 최근에는 유럽의 스포츠카 메이커까지 개발을 시작하는 등 차세대 파워 유닛의 중심적 존재가 될 가능성을 품고 있다.

엔진의 약점은 아이들링 시나 발진 시의 효율이 나쁘다는 것. 그러나 모터는 제로 회전에서부터 최대토크를 발휘할 수 있어 효율이 높으므로, 엔진이 힘을 쓰지 못하는 저회전 영역을 서포트할 수 있다. 한편 속도가 오르면 엔진은 효율이 높아지고, 모터는 반대로 출력이 낮아지며 효율이 악화된다. 따라서 상호 장점을 살릴 수 있는 영역을 조합해 에너지 효율을 극적으로 높인 것이 하이브리드카인 것이다.

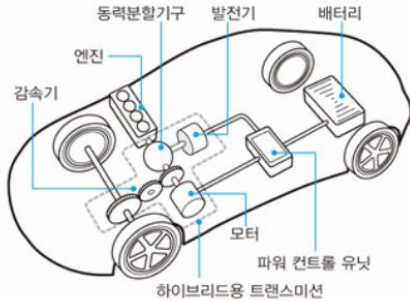
모터와 배터리를 함께 얹은 사양의 장점은 에너지를 회수할 수 있다는 것이다. 이를 회생이라 부르는데, 액셀 페달에서 발을 뗐을 때나 브레이킹 시에 타이어의 회전 에너지로 발전기를 돌려 배터리를 충전하고, 그렇게 모은 전기를 다시 모터를 돌릴 때 사용하는 것이다. 이렇게 함으로서 지금까지 브레이크 열로 버려지던 에너지를 전기로 재이용하는 것이 가능해졌다.

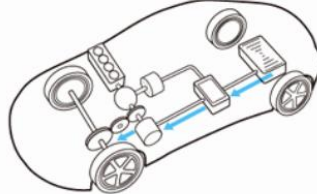
또 하나의 장점은 엔진의 성능을 보완하여, 모터를 과급기와 같은 역할로 활용한다는 점이다. 유럽 메이커가 만든 하이브리드카에는 오히려 여기에 주안점을 둔 모델도 많다. 대배기량차의 주행 필링을 과급기가 아닌 전기모터가 실현한다는 발상이다.

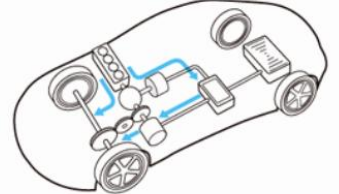
모터나 엔진 등을 어떻게 조합하느냐에 따라 하이브리드 시스템의 제어 폭과 특기 영역에 차이가 발생하므로, 자동차 메이커에서는 다양한 컨셉트 하에서 최적의 시스템을 연구하고 있다. 현재 이미 몇 가지 종류의 하이브리드 시스템이 실용화되어 있으며 앞으로도 그 종류가 증가될 것으로 예상된다. 또, 슈퍼카용 하이브리드도 개발 중인 것으로 알려져 있는데, 여기에는 과연 어떤 시스템을 채용할 것인지가 주목되는 바다.

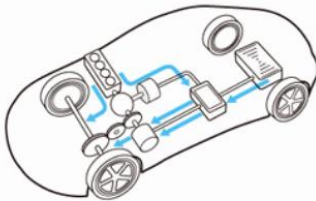
엔진과 모터로 달린다.

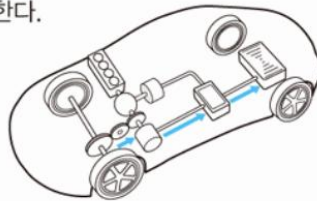
TOYOTA PRIUS의 작동개요

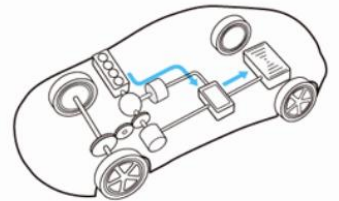
시스템 전체도

발진 시·저중속 주행 시

발진할 때나 저속에서 중속까지의 통상 주행 등 엔진 효율이 나쁜 영역에서는 엔진을 정지, 모터만으로 주행한다

통상 주행시

엔진동력은 동력분할기구를 통해 2개 경로로 분할. 하나는 발전기를 돌려 발전하고 나머지는 차 바퀴를 직접 구동한다.

급가속 시

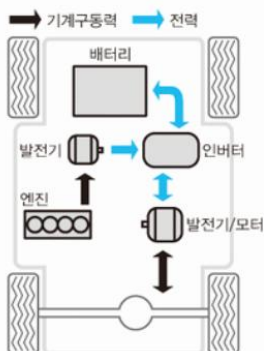
배터리에서도 전력을 공급. 엔진의 구동력에 모터의 구동력을 더함으로써 리스폰스가 좋아지고 스무스한 가속성능이 얻어진다.

감속 시&제동 시

차 바퀴가 모터를 구동. 모터를 발전기로 활용해 차의 제동 에너지를 높은 효율로 전력으로 전환한다. 회생 브레이크로서도 작용하여 회수한 전력은 배터리에 저장한다.

배터리 충전 시

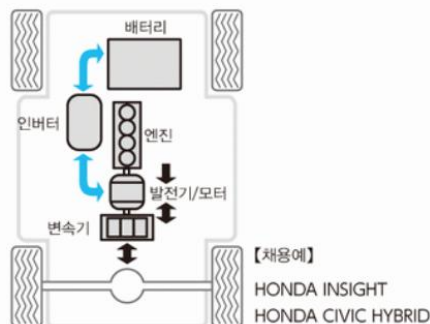
배터리는 일정 충전상태를 유지하도록 제어된다. 충전량이 적으면 엔진을 시동해 발전기를 돌려 충전을 시작한다.

하이브리드 시스템의 종류

시리즈 방식

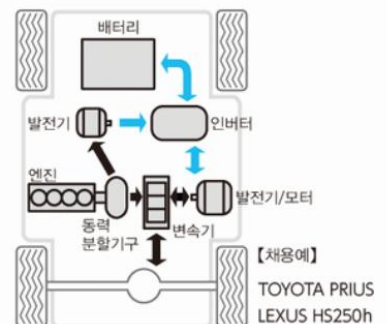
▶ Series hybrid

엔진은 발전기를 돌리는 역할만 하고 차를 움직이는 것은 모터뿐이다. 심플한 구성으로 엔진의 탑재위치도 자유로워, 발전기를 얹은 전기자동차와 같은 구조로 되어 있다.

패러렐 방식

▶ Parallel hybrid

엔진과 모터가 나란히 늘어선 방식으로 종래의 엔진과 트랜스미션 중간에 모터를 조합하여 완성하므로 생산성도 높다. 주역은 다운사이징된 엔진으로, 그것을 모터가 어시스트함으로써 동력성능과 연비성능 양쪽의 장점을 모두 취하는 방식이다.

시리즈 패러렐 방식

▶ Series-Parallel hybrid

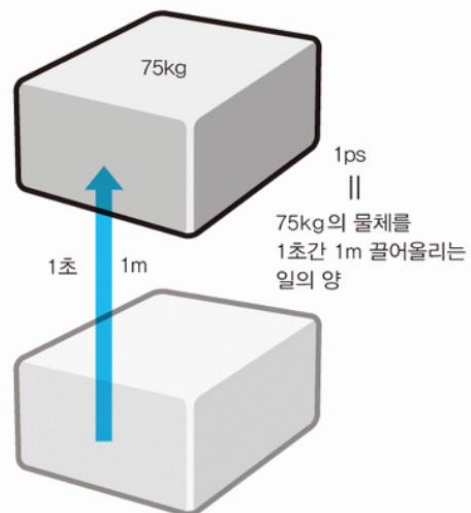
「스프릿 방식(=동력분할방식)」으로도 불린다. 엔진의 동력을 유성기어를 사용한 동력분할기구로 분할해, 발전기와 모터로 나누는 시스템. 발진/저속주행 시에는 배터리에 저장된 전력으로 움직이고, 일반 주행 시에는 엔진을 효율이 좋은 회전영역에서 사용하면서 발전기를 돌려 배터리 충전도 한다.

성능을 알 수 있는 키워드

카탈로그의 사양표에는 많은 수치와 용어가 나열되어 있다. 자동차의 엔진 성능이나 포텐셜을 가늠하기 위해서는 그 의미와 읽는 방법을 확실히 숙지해야 할 것이다.

여기에 엔진 포텐셜을 파악하는데 기준이 되는 기본 용어 5가지를 선별했다. 마력이나 토크, 배기량 등 지금까지 당연하다고 생각했던 수치도 그 의미를 확실히 이해한다면 자동차의 특성이나 성능을 보다 깊게 이해할 수 있게 될 것이다.

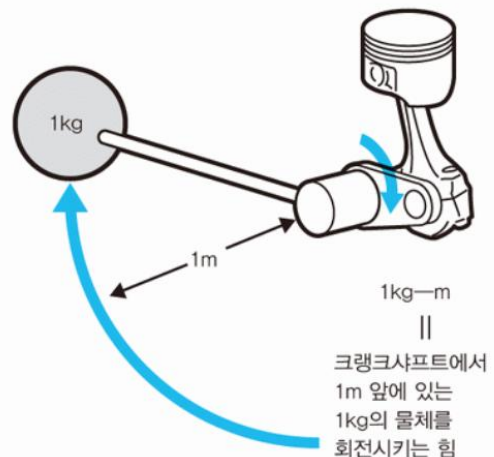
마력

▶ Horsepower

엔진의 성능을 단적으로 나타내는 수치가 "ps" 등으로 표기되는 마력이다. 1마력은 75kg의 물체를 1초간 1m 들어올리는 「일의 양」이다. 즉 100마력의 엔진이라면 1톤의 물체를 1초간 7.5m 들어올릴 수 있다는 의미다. 마력은 「토크×회전수」로 구하는데, 소배기량이라 할지라도 고회전형 엔진이라면 큰 출력을 내는 것이 가능하다. 국제규격에서는 "kW"가 이용된다(1ps: 0.735kW).

토크

▶ Torque

회전력을 나타내는 수치를 토크라 부르며, 1m 앞의 너트를(1m 길이의) 렌치로 1kg의 힘을 가해 돌릴 때의 회전력이 1kg-m이다. 엔진으로 말하면 크랭크샤프트가 가진 회전시키려는 힘을 나타낸다. 연소 에너지 그 자체에 가깝기 때문에 자연흡기 엔진에서는 배기량에 따라 비슷한 토크를 얻게 된다.

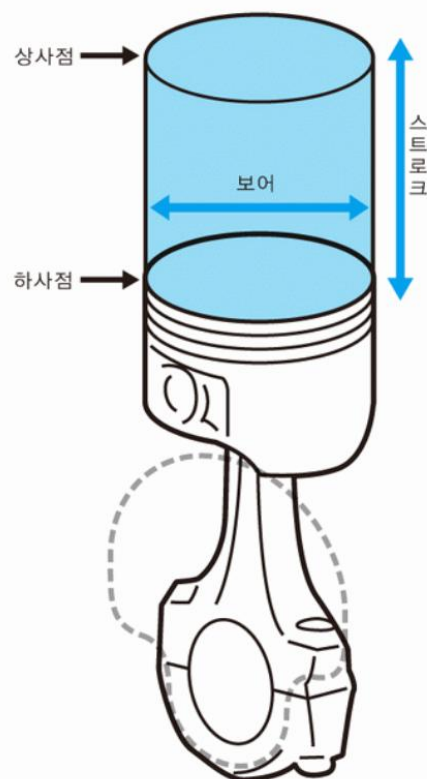
토크가 강하다는 것은 엔진이 회전을 유지하려는 힘이 강함을 의미하므로, 드라이버가 다루기 쉬운 엔진이라 할 수 있다.

배기량/기통수
▶ Displacement/Cylinder

배기량이라는 것은 엔진이 어느 정도의 혼합기체를 흡입할 수 있는 가를 나타내는 기준으로, 왕복형 엔진에서는 「피스톤이 왕복하는 원주의 체적×기통수」가 된다. 기통수라는 것은 1기의 왕복형 엔진에 있는 실린더의 개수를 의미한다.

엔진은 배기량이 클수록 큰 출력을 얻을 수 있으나 1기통의 용적이 너무 클 경우, 부드러운 회전이 힘들어진다. 따라서 기통수를 증가시키는 것으로 1기통당 용적을 억제하는 것이다. 또 기통수가 증가하면 크랭크샤프트의 1회전당 실린더 폭발횟수도 늘어나기 때문에 엔진의 회전이 부드러워지는 효과도 있다.

일반적으로 1기통당 배기량은 350~600cc가 이상적이지만 다기통 엔진은 코스트가 매우 높다. 이 때문에 실제 기통수는 보디 사이즈나 차급에 따라 결정되는 일이 많다.

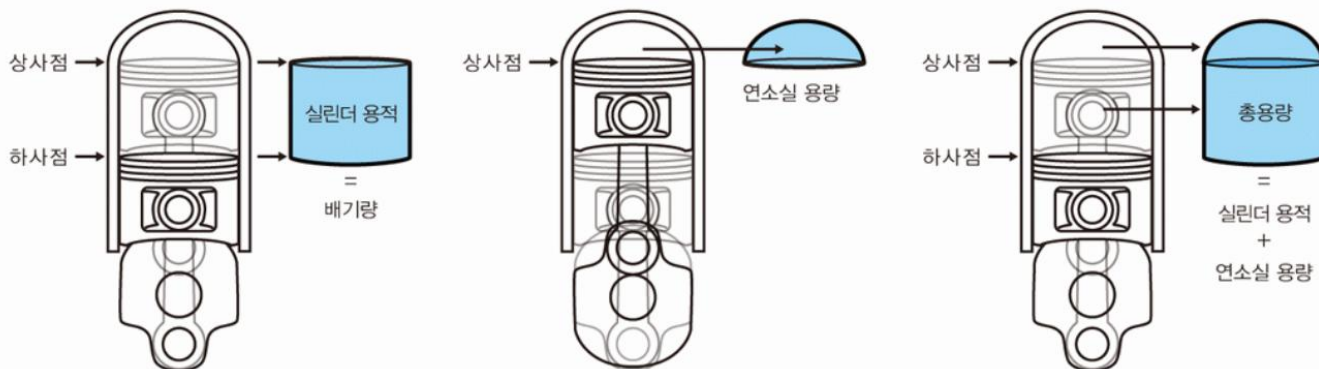
보어 스트로크비
▶ Bore Stroke ratio

실린더 안의 스트로크(행정)를 보어(내경)로 나눈 수치를 「보어 스트로크비」라고 부른다. 수치가 1보다 작으면 숏 스트로크, 1보다 크면 롱 스트로크, 딱 1이면 스퀘어라고 부른다. 보어 스트로크 길이는 엔진의 특성에도 영향을 미친다. 일반적으로 롱 스트로크 엔진은 저중속회전의 토크를 살리기 쉽지만 고회전 영역에서는 파워를 발휘하기 어렵다. 숏 스트로크 엔진의 특성은 그 반대다. 참고로 피스톤이 실린더 내 최상부에 있을 때(더 이상 올릴 수 없는 상태)를 상사점, 반대로 가장 아래에 있을 때를 하사점이라고 부른다는 것도 기억해 두자.

압축비
▶ Compression ratio

압축비란, 엔진이 흡입한 혼합기를 어느 정도 압축시키는지를 나타내는 수치다. 엔진 파워는 이 압축비에 따라 크게 변화한다.

압축비는 피스톤이 가장 아래에 있을 때 최대가 되는 실린더 용적(=실린더의 총 용적)을 피스톤이 최고점에 올라 가장 작아졌을 때의 실린더 용적(이것을 연소실 용적이라 부른다)으로 나누어 구한다. 실린더 총 용적은 피스톤이 오르내리는 원통의 체적(배기량)에 연소실용적을 더한 것이다.

예를 들어 2000cc의 4기통 엔진의 경우, 1기통당 배기량=실린더 용량은 500cc다. 만일 연소실 용량이 50cc라고 한다면 총 용량 500cc+50cc=550cc를 연소실 용량 50cc로 나누어 압축비는 「11」이 된다.

일반적으로 자연흡기 가솔린 엔진에서는 압축비를 9~11로 설정하는 경우가 많고, 10을 넘으면 배기량 대비 고출력 설정이 된다. 한편 과급기가 달린 엔진에서는 7~9 정도가 일반적이다.

파워를 스피드로 변환하는 구동장치

파워를 잘 끌어내 실제 스피드로 연결시키는 데는
적절한 기어비와 트랙션이 불가결하다. 구동계 파츠는 엔진 퍼포먼스를 크게 좌우한다.

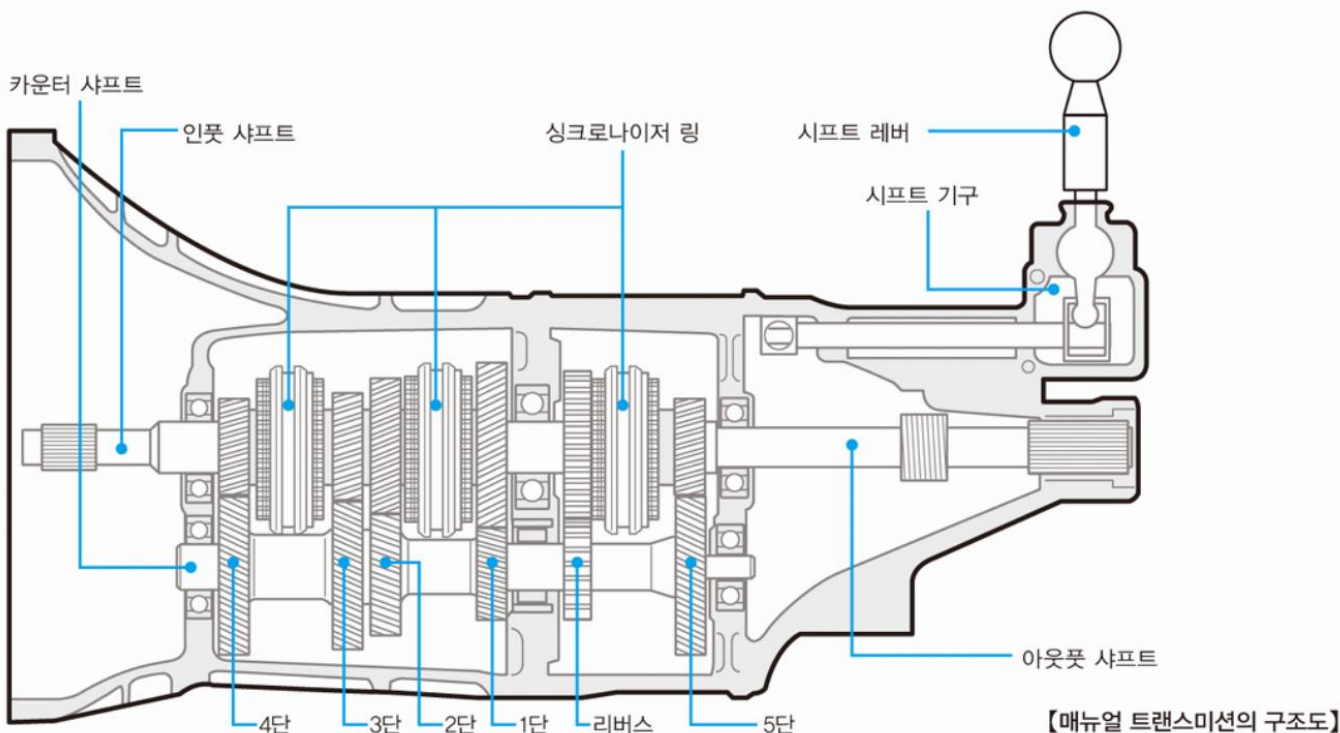
트랜스미션

엔진은 1분당 수백에서 수천 회전으로 돌아간다. 이 회전 수는 타이어를 돌리기에 너무 빠르다. 그리하여 기어를 조합함으로서 상황에 따른 속도와 힘을 엔진에서 뽑아낼 수 있게 하는 것이 트랜스미션(변속장치)이다.

기어의 원리를 생각해보자. 어느 기어를 보다 큰 기어와 조합하면 큰 기어는 빨리 회전하지 않는 대신에 힘을 증폭시키는 것이 가능하다. 한편 작은 기어를 조합하면 빨리 회전하는 대신 힘은 줄어든다.

트랜스미션은 이 원리를 이용하고 있다. 차가 가장 큰 힘을 필요로 하는 것은 출발할 때. 반대로 고속을 일정속도로 달릴 때에는 적은 파워밖에 필요치 않다. 그래서 출발 시에는 엔진에 큰 기어를 물려(감속비가 크게) 큰 토크를 얻어내 차를 확실하게 전진시키는 것이다.

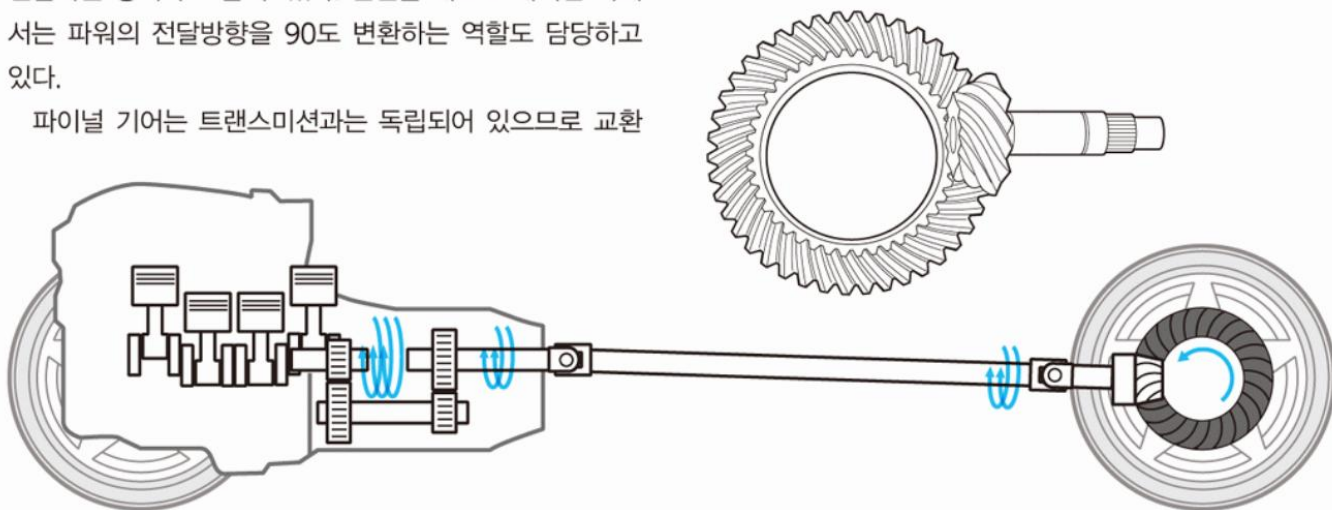
큰 기어는 토크는 늘릴 수 있지만 회전 수는 낮아진다. 이것은 1단 기어 때 엔진의 회전 한계까지 돌려도 겨우 시속 수십km 밖에 가속할 수 없다는 점에서도 알 수 있다. 따라서 트랜스미션은 여러 개의 기어를 준비해 차례로 작은 기어를 조합함으로서(감속비를 줄여) 주행상황에 알맞은 속도와 힘을 자유자재로 조작하는 것이 가능하다.

실제 자동차는 엔진 바로 뒤에 달린 트랜스미션과 구동륜 바로 앞에 있는 파이널 기어를 조합해 기어 비를 만들어 낸다. 기어 비를 바꾸면 자동차의 주행특성을 크게 변화시키는 것이 가능하다. 특히 서킷 주행에서는 서킷에 적합한 기어를 선택하는 것이 타임 어택의 큰 열쇠라고도 할 수 있을 것이다.

【매뉴얼 트랜스미션의 구조도】

동력을 효율적으로 끌어낸다.

파이널 기어

엔진과 구동륜 사이에 있는 구동계 최후의 감속기어장치가 파이널 기어다. 구동계 전체로 보면 트랜스미션과 보완관계에 있으며 엔진 회전을 다시 한번 감속시켜 타이어에 전달하는 장치라고 할 수 있다. 엔진을 세로로 배치한 차에서는 파워의 전달방향을 90도 변환하는 역할도 담당하고 있다.

파이널 기어는 트랜스미션과는 독립되어 있으므로 교환이 비교적 쉽다. 이 때문에 차의 특성을 크게 바꾸고 싶을 때에 중요한 요소가 된다. 일반적으로 스포츠 성능을 중시할 경우 파이널 기어의 기어 비를 키우면 가속성능을 올릴 수 있다(도달 속도는 낮아진다). 반대로 연비성능을 중시할 경우에는 기어 비를 줄임으로써 엔진의 회전 수를 낮추는 것이 가능하다.

2페달 트랜스미션의 종류

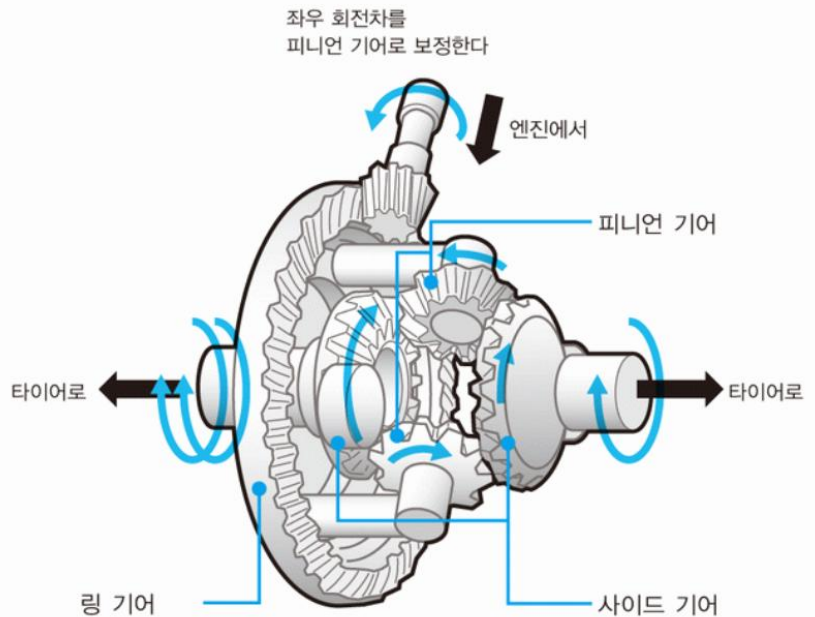
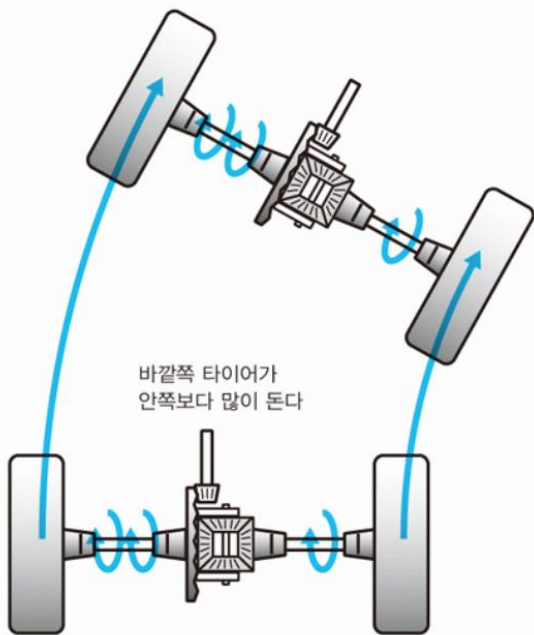
AT
▶ Automatic transmission

정확히는 "오토매틱 트랜스미션". 엔진의 동력을 연결하고 끊는 토크 컨버터(유체 클러치)를 이용해 차의 속도나 엔진 회전 수에 따라 변속 비를 자동으로 전환하는 기구를 갖춘, 현재 주류를 이루고 있는 트랜스미션이다. 내부의 기어는 유성기어를 사용하며 유압으로 제어된다. 부드러운 변속이 가능하다는 장점이 있으며, 유압에 의한 슬립이나 동력손실이 발생하므로 연비 면에서는 불리하다.

CVT
▶ Continuously variable transmission

"무단변속기" 혹은 "연속가변 트랜스미션"으로도 불린다. 일반적인 트랜스미션처럼 기어를 바꾸어 변속하는 것이 아니라 금속제 벨트나 체인 등으로 연결된 2개의 풀리나 디스크의 직경을 변화시킴으로써 변속 비를 연속적으로 변화시킨다. 변속 충격은 전혀 없고 다양한 주행 상황에 따라 가장 효율이 좋은 엔진 회전영역을 사용해 달릴 수 있다.

DCT
▶ Dual clutch transmission

"듀얼 클러치 트랜스미션"은 매뉴얼 트랜스미션의 조작을 2개의 클러치를 사용해 자동화한 것이다. 홀수 기어와 짝수 기어를 별도의 축으로 나누어 각각의 클러치로 순간적으로 전환함으로써 매뉴얼 이상의 변속 성능을 실현하고 있다. AT에서는 유성기어의 회전한계에 따라 사용하는 엔진의 최고회전수에 제한이 있지만, DCT에는 고회전형 엔진도 조합할 수 있다. 스포츠계열 뿐 아니라 에코카에도 효과적인 트랜스미션이다(→DSG : P.117).

디퍼렌셜 기어

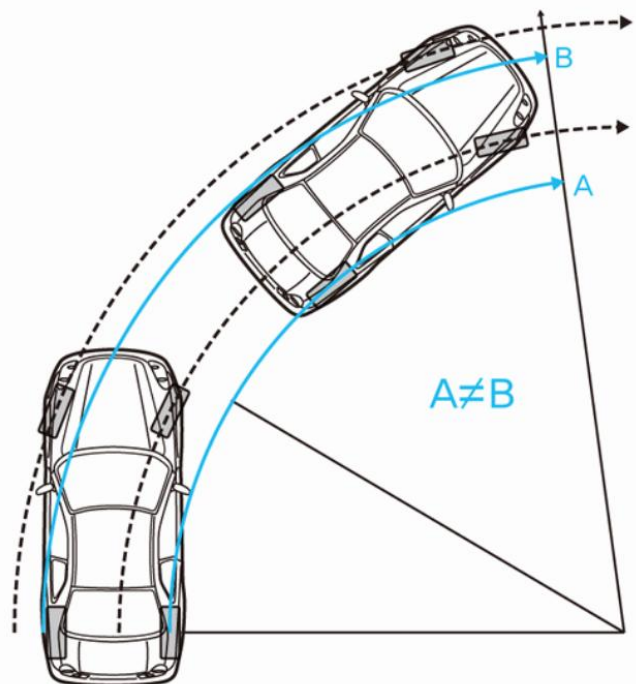
구동바퀴가 좌우에 달려있는 자동차에 있어, 디퍼렌셜 기어는 필수다. 완전한 직선주행에서는 필요 없지만 코너를 돌 때에는 대단히 중요한 역할을 한다.

코너링 시, 코너 바깥쪽 타이어는 안쪽 타이어보다 긴 거리를 달린다. 이것이 내륜차다. 이 차이에 따라 타이어에 회전 수 차이를 두지 않으면 안쪽 타이어가 끌리듯이 움직이게 되어 차가 코너를 잘 돌지 못하게 된다. 디퍼렌셜 기어는 좌우 구동륜 사이에 파이널 기어와 일체화되어 조합되어 있다.

오른쪽 위 그림을 참조하여 설명해 보겠다. 파이널 기어에서 입력된 엔진 파워는 링 기어로 전해진다. 링 기어에는 2개의 피니언 기어가 고정되어 있는데, 이 피니언 기어는 2개의 사이드 기어 주변을 공전하도록 되어있다. 사이드 기어는 2개가 있고, 각각 좌우 구동바퀴로 연결되어 있다.

평소 자동차가 직진할 때에는 파이널 기어의 회전에 맞추어 피니언 기어가 사이드 기어의 주위를 회전하며 사이드 기어에 엔진 파워를 전달한다. 이 경우 좌우 구동바퀴에는 동일한 토크가 분배된다.

그러나 코너에서 선회상태가 되면 코너 안쪽 타이어에 저항이 생기고, 그 저항이 드라이브 샤프트를 통해 안쪽 사이드 기어로 전해진다. 그러면 이제까지 사이드 기어 주변을 돌던 피니언 기어가 공전과 동시에 자전하게 되어 바깥쪽 타이어와 안쪽 타이어의 회전 차를 조정하게 되는 것이다.

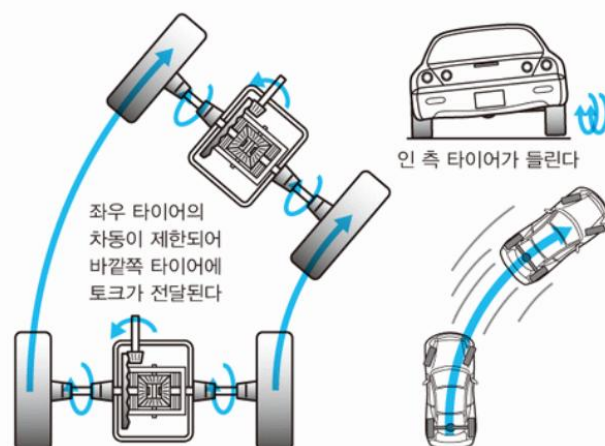
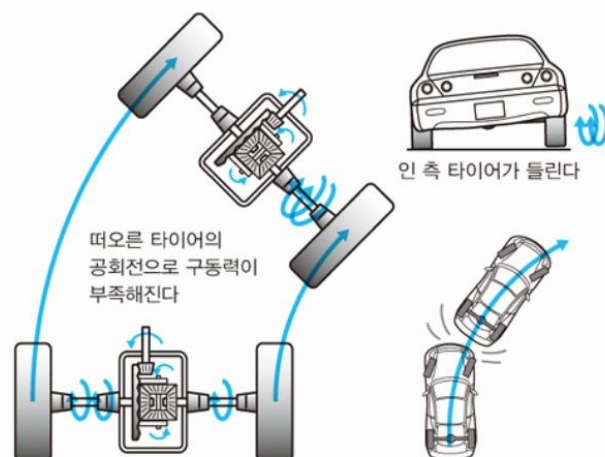
이렇게 함으로써 엔진 파워가 저항이 생기는 코너 안쪽에는 조금, 바깥쪽 타이어에는 많이 분배되어 회전 차를 보정하게 된다.

부드럽게, 그러나 강하게 돈다.

LSD [리미티드 슬립 디퍼렌셜]

코너에서의 디퍼렌셜의 역할은 앞서 설명한 바로, 여기에는 구조상의 약점이 있다. 디퍼렌셜을 조합한 구동바퀴 중 한쪽이 바닥에 접지하지 않으면 다른 바퀴에 구동력이 전달되지 못한다는 점이다. 접지하지 않는 타이어는 공회전하게 되고, 디퍼렌셜 기어는 공회전하는 타이어의 회전 차를 보정하려고 하므로 이 타이어에만 구동력을 전달하게 되는 것이다. 진창이나 눈길에서 출발하지 못하는 차를 자주 볼 수 있는데 대부분이 디퍼렌셜 기어의 이러한 성질에 의해 일어나는 현상이다.

그래서 좌우 구동바퀴에 일정 이상의 회전 차가 생기는 경우 디퍼렌셜 기어의 기능을 제한하는 것이 LSD(리미티드 슬립 디퍼렌셜)다.

LSD의 원리는 드라이브 샤프트에 연결된 사이드 기어의 회전을 일정하게 억제하는 기구를 조합함으로써 양쪽 바퀴에 구동력을 확실하게 배분하려는 것이다. 구체적인 방식으로는 다판클러치식, 전자제어식, 기어조합과 그 축방향으로 발생하는 힘을 마찰력 등으로 변환하는 방식, 점성유체의 전단저항을 이용한 것 등이 있다.

스포츠 모델에서는 미끄러운 노면에서의 탈출 목적보다는 구동력의 확보, 나아가 조종성 향상을 목적으로 LSD를 사용하고 있음을 기억해 두자.

LSD의 종류

토크감응식
▶ Torque sensing type

특수한 기어를 조합하는 방식. 좌우 구동륜에 토크 차이가 발생하면 기어의 표면저항이 늘어나면서 차동제한이 이루어진다. 차동제한력이 크기 때문에 서킷 주행처럼 항상 큰 부하가 걸리는 주행의 경우에 효과적이며, 차동제한이 개시되기까지의 반응시간도 짧다. 다판클러치식 외에 토센식, 헬리컬식 등 종류가 풍부하다.

회전감응식
▶ Revolution sensing type

차동제한에 기어가 아니라 점성 높은 실리콘 오일을 사용한다. 오일의 전단저항력을 이용한 비스커스식이 대표적으로 그밖에 오일이 오리피스(작은 구멍)를 통과할 때의 저항을 이용한 오리피스식도 있다. 토크감응식에 비해 차동제한력이 떨어지고 반응성도 살짝 늦지만, 그만큼 미끄러운 노면에서 다루기 쉽다.

능동제어식
▶ Active control type

전자제어방식. 컴퓨터가 각종 센서로부터 정보를 모아 능동적으로 차동제한을 한다. 랠리 등의 경주용 차에 사용되는 일이 많고 WRC에서는 매우 일반적인데, 일부 시판차도 채용하고 있다. 차동제한력의 제어는 마찰판의 압력제어를 통해 이루어지며, 유압식과 전자클러치를 사용하는 2가지 방식이 있다.

주행을 받쳐주는 자동차의 골격

엔진이나 트랜스미션 이상으로 주행성능에 영향을 미치는 것이 보디워크다. 조종성의 좋고 나쁨을 결정하는 자동차의 기초이자 기본.

보디에서 추구되는 성능

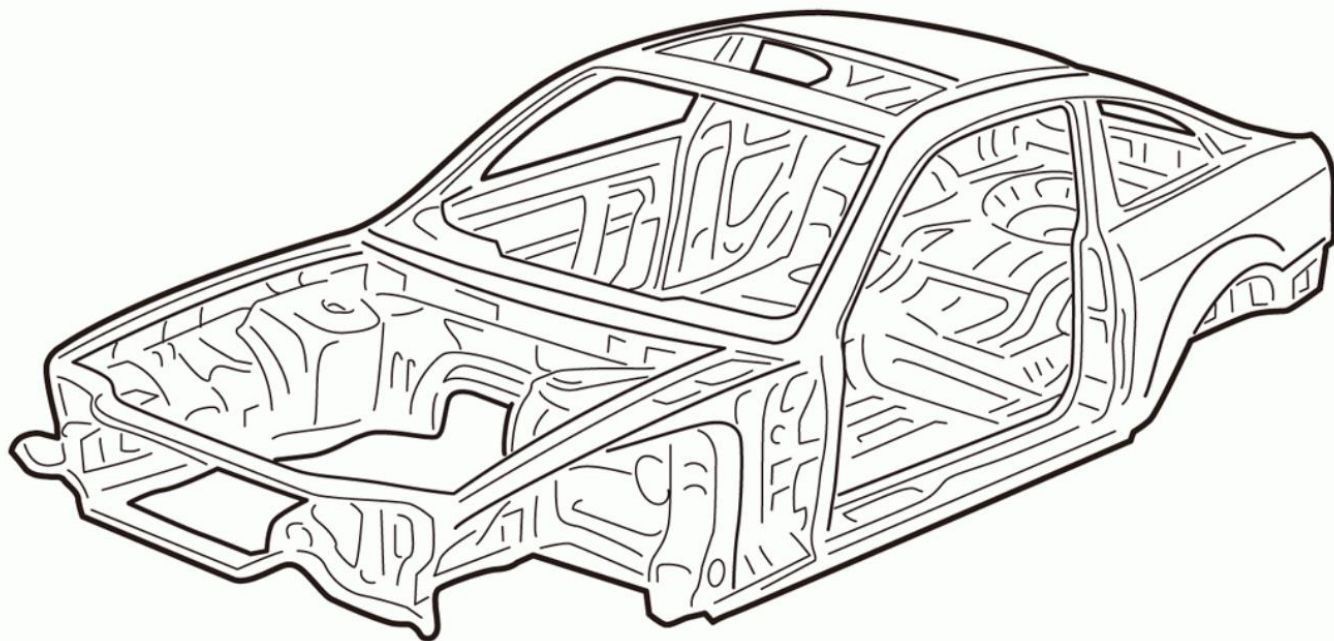
보디는 엔진이나 서스펜션과 나란히 자동차의 성격을 좌우하는 자동차의 골격이다. 보디에는「강성」과「강도」그리고 그것을 실현한 다음에는「가벼움」이 요구된다. 강성은「얼마나 변형되기 어려운가」, 강도는「얼마나 부서지기 어려운가」로 설명할 수 있다.

특히 주행성능에 큰 영향을 미치는 것은 강성이다. 예를 들어 굴곡진 노면을 통과할 때나 코너링 시에 부하가 걸릴 때 보디가 잘 변형되지 않는 것을「강성이 높다」고 표현한다.

반대로 변형해도 순간적으로 복원된다면 서스펜션을 올바르게 작동시키는 것이 가능해, 타이어 접지성이 높아진다. 강성이 높으면 노면에 파워를 전달하기 쉽고, 거동이 안정되어 운전도 쉬워진다. 반대로 쉽게 보디가 변형되면 파워를 정확하게 노면에 전달할 수 없게 되고, 조종성도 현저히 떨어지게 된다.

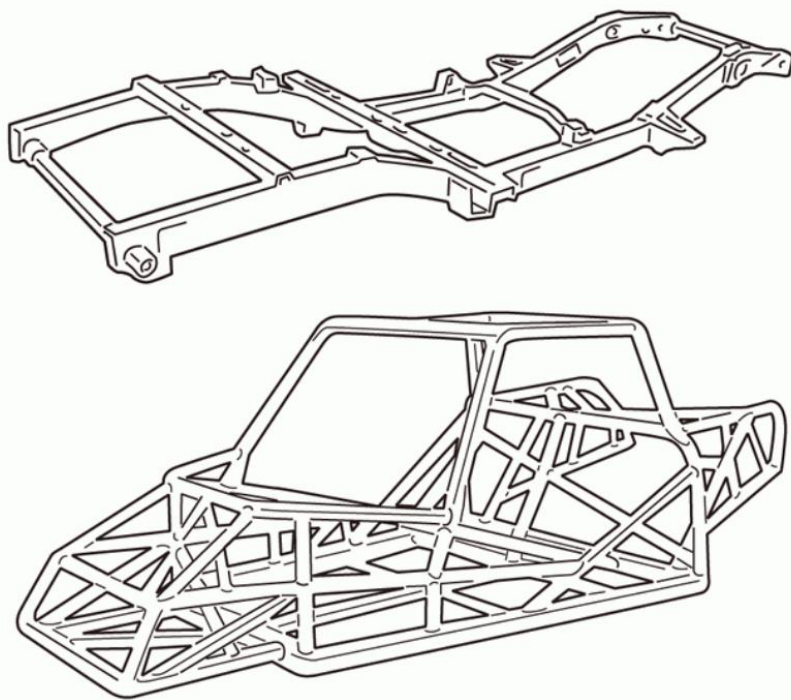
보디에 가해지는 충격은 일정하지 않아 부드럽게 들어오기도, 격하게 들어오기도 한다. 자동차의 카탈로그에는 '휨 강성'이나 '비틀림 강성'이라는 항목이 있는데 이것은 천천히 입력된 충격에 대한 강성일 때가 많다. 하지만 진정한 고강성 보디란 격렬하게 흔들리는 순간적인 충격에도 견디는 보디를 말한다.

한편 강도는 딱딱함이나 강함을 생각하면 된다. 강도가 낮으면 충격 시에 보디가 받는 대미지가 커진다. 그러나 만약 자동차가 전차와 같은 강도를 가지고 있다면 부서지지 않는 대신 강한 충격이 승객에게 그대로 전달되고 말 것이다.

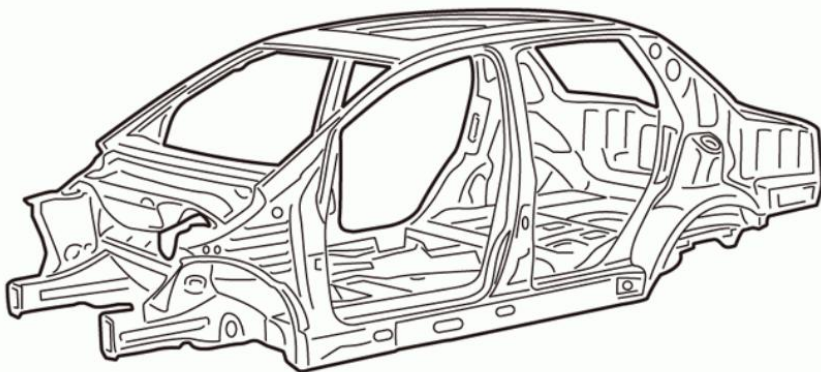
자동차의 보디는 이러한 강성과 강도를 고차원에서 양립시켜야만 한다. 가장 쉽게 강성과 강도를 높일 수 있는 방법은 보강이지만 무게 증가를 피할 수 없다. 루프가 없는 오픈카가 플로어 등을 보강하느라 결과적으로 더 무거워지는 것은 이것이 주된 원인으로 작용한 것이다.

강도와 강성의 확보.

프레임 보디

▶ Frame body

"세퍼레이트 프레임" 혹은 "보디 온 프레임"이라고도 불린다. 엔진이나 트랜스미션, 서스펜션 등을 연결하는 단단한 프레임에 별도로 제작한 보디를 얹은 구조. 사다리형을 시작으로 백본형, 페리메터형, 플랫폼형이 있고 그 중에서도 사다리형은 비교적 낮은 제작 코스트에 강도를 확보하기도 쉬워 오프로드카 등에 자주 채용된다. 다수의 소구경 강관을 용접하고 보디 패널을 씌운 "멀티 튜브 프레임"도 프레임 보디의 일종이지만, 이는 비분해식. 고강성과 경량을 양립시키기 쉽고, 개조나 수리도 간편하기 때문에 레이싱카나 소량 제작 스포츠카에 자주 채용된다.

모노코크 보디

▶ Monocoque body

프레임과 보디를 일체화시킨 현대 보디구조의 주류. 마치 계란 껍질처럼, 보디 패널을 주체로 하는 구성 파트 전체로 보디의 강도를 확보한다는 점이 특징으로, 경량이면서 고강성이다. 플로어 높이를 낮출 수 있어 유리할 뿐 아니라 충돌 시의 에너지 흡수성도 뛰어나다. 엔진이나 서스펜션을 보디에 직접 부착하는 구조 때문에 과거에는 승차감이나 소음면에서 프레임 구조 자동차에 비해 열세였으나, 서스펜션의 진화와 마운트 기술의 향상에 힘입어 이런 단점들도 완전히 해소되었다.

차의 속도를 떨어뜨리는 열교환기

자동차의 달리는 에너지를 열 에너지로 바꾸어 감속. 엔진 파워를 이기는 스토핑 파워는, 당연히 과열에 대한 충분한 대응도 요구되는 중요한 파트다.

구조와 원리

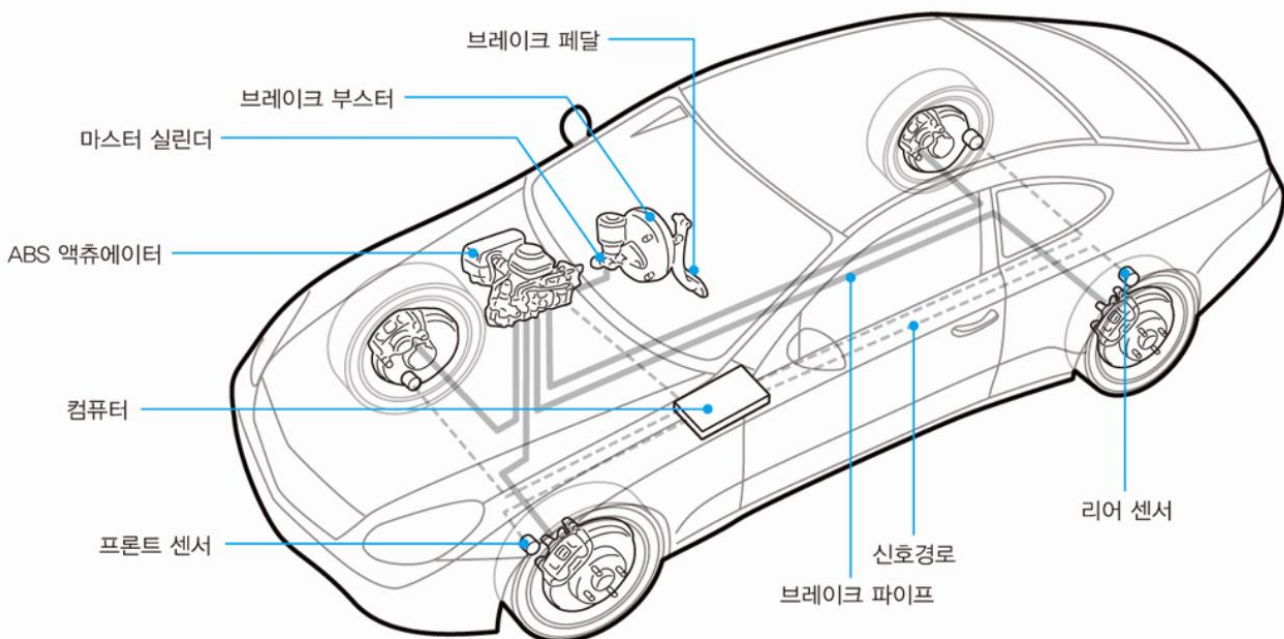
자동차의 브레이크는 운동 에너지를 열 에너지로 교환해 속도를 떨어뜨리는 장치. 아울러 멈추어 선 자동차가 움직이지 않도록 고정하는 역할도 담당하고 있다.

브레이크의 기본구성 요소에는 드라이버의 입력을 받기 위한 조작장치, 조작력을 전달하는 액압회로 그리고 가장 중요한 제동장치 그 자체가 있다. 더욱이 최근에는 조작력을 증폭하는 배력장치가 액압회로에 조합되어 있으며, 타이어의 잠김을 방지하는 ABS도 장착하게 되었다.

브레이크 페달과 제동장치는 액압회로를 통해 연결되어 있다. 액압회로에는 파스칼의 원리가 작용하기 때문에 브레이크 페달 안에는 표면적이 큰 실린더가 연결되어 있다. 이 실린더 안에서 만들어진 압력이 증폭되어 패드나 슈로 전달되는 것이다. 패드나 슈는 마찰재로, 이것을 브레이크 디스크나 드럼에 마찰시키면 운동 에너지가 열 에너지로 변환되면서 차의 속도를 떨어뜨리게 된다.

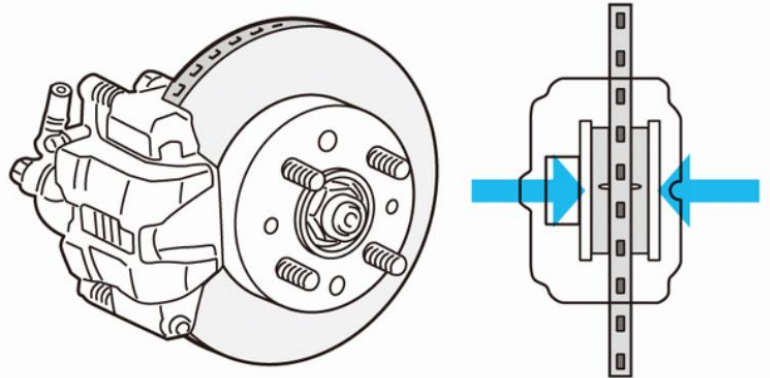
액압회로를 흐르는 것은 오일이 아니라 전용 브레이크액이다. 브레이크액은 브레이크의 발열에도 끓어오르지 않아야 하며 비등점에 따라 몇 가지 종류가 있다.

도로의 정비 여건이 좋아짐에 따라 승용차의 전륜 브레이크의 주류는 드럼식에서 디스크식으로 바뀌었다. 디스크식 브레이크는 캘리퍼에 달린 패드로 디스크를 양쪽으로 조여 제동력을 발생시킨다.

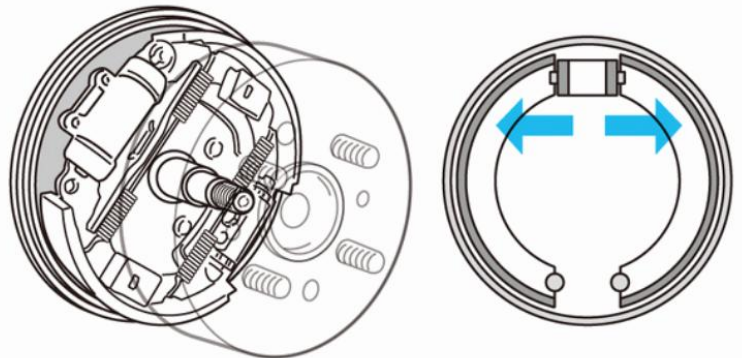
디스크식 브레이크는 자동차의 고성능화에 따라 냉각성능이 우수한 벤틸레이티드 디스크로 진화했다. 캘리퍼도 단순한 구조의 플로팅 캘리퍼에서 대향 피스톤 타입의 대형 고성능 캘리퍼로 진화하고 있다.

브레이크를 밟으면 왜 멈추나?

디스크식

▶ Disc type

휠과 함께 회전하는 금속제 원반(디스크)을 양쪽에서 눌러 제동력을 발휘한다. 디스크를 비롯한 구성부품 대부분이 밖에 노출되어 있기 때문에 통풍성, 방열성 모두 우수해 잘 과열되지 않는 것이 최대의 특징이다. 또 디스크에 물이 묻은 경우에도 스스로의 회전력으로 물을 비산시켜버리므로 마찰계수가 극단적으로 낮아지지 않는다는 장점도 있다. 페달 답력에 따른 미묘한 제동력 제어가 쉬운 반면, 자기배력효과가 없고, 정차 시의 구속력도 드럼식에 비해 약하다.

드럼식

▶ Drum type

휠과 함께 회전하는 원통형의 드럼 속에 브레이크 슈를 눌러 붙여 제동력을 얻어내는 방식. 방열성이 나쁘기 때문에 디스크 브레이크보다 과열되기 쉽고, 브레이크 내부에 물이 들어간 경우에도 마찰력을 회복하는데 시간이 걸린다. 다만 제동 시에는 슈 스스로 드럼에 눌리는 방향으로 움직이기 때문에 큰 구속력을 발휘한다(자기배력작용). 승용차에서는 브레이크 부담이 적은 뒷바퀴에 장비하는 케이스가 많고 대형차에서는 뒷바퀴의 디스크 브레이크 안쪽에 파킹 브레이크로 조합된다.

마찰열에 의한 브레이크 트러블

페이드 현상

▶ Fade

브레이크를 혹사시켰을 때 제동력이 극단적으로 낮아지는 현상. 구체적으로는 마찰제인 패드나 라이닝이 과열되어 가스가 발생하는데, 그 가스가 디스크나 드럼과의 사이에 일종의 윤활제처럼 작용해 마찰계수를 저하시킨다.

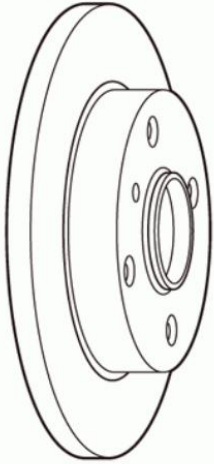
베이퍼록

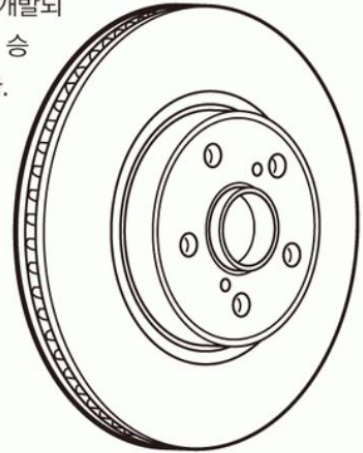
▶ Vapor lock

과열된 패드나 라이닝의 열이 브레이크액을 끓게 만들어 브레이크 라인 속에 기포가 발생하는 현상. 페달을 밟아도 정격압력으로 브레이크액을 보낼 수 없어, 최악의 경우 제동력을 올릴 수 없는 상황에 빠진다.

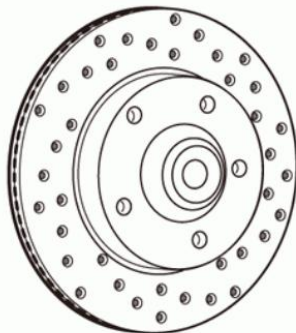
디스크의 종류

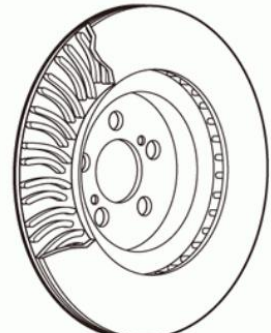
솔리드 디스크
▶ Solid disc

한 장의 원반을 사용하는 가장 베이직한 타입. 벤틸레이티드 타입에 비해 방열효과는 떨어지지만 코스트가 낮기 때문에 경차의 프론트 브레이크에 사용되며, 4륜 디스크에서는 제동 시 부담이 적은 리어 브레이크로 사용되는 경우가 많다. 벤틸레이티드 타입을 포함한 디스크 방식은 마찰열에 강하며 방열효과가 높은 소재가 요구되므로 주철제가 주로 쓰인다.

벤틸레이티드 디스크
▶ Ventilated disk

두 장의 디스크를 맞붙여 그 사이에 다수의 방열용 구멍을 설치한 형태. 원래는 레이싱카용으로 개발되어 사용되어 왔지만 현재는 승용차에도 많이 채용되고 있다. 솔리드 타입과 비교해 디스크 표면온도를 약 30% 정도 낮출 수 있기 때문에 보다 내열(페이드)성을 높이고 패드의 수명을 연장하는 것이 가능하다. 다만 두께가 있기 때문에 약간 무겁다는 것이 단점.

더욱 진화한 벤틸레이티드 디스크

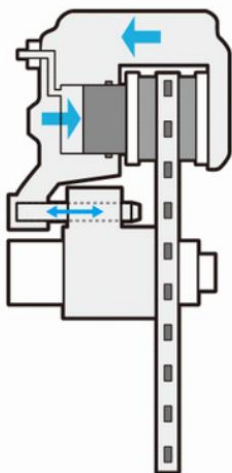
핀홀 타입
▶ Pinhole type

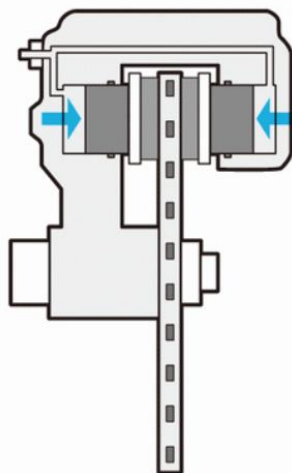
일반적인 벤틸레이티드 디스크의 마찰면에 다수의 구멍을 뚫어 방열성 및 냉각효율을 높인 타입. "드릴드 디스크"라고도 불리며 레이싱카나 고성능 스포츠카에 많이 채용된다. 구멍은 제동 때 생기는 가루를 제거하는데도 효과적이며 비슷한 효과를 목적으로 표면에 홈을 새긴 "슬릿 디스크"도 있다.

스파이럴 핀 타입
▶ Spiral fin type

디스크를 2장 붙인 내부의 방열용 핀을 스파이럴(나선형) 형태로 만든 타입. 핀 형태는 디스크 내부 공기흐름의 수치해석에 기초해 최적화시킨 것으로, 바퀴 회전과 함께 효과적으로 마찰열을 방출할 수 있다. 고성능 스포츠카 외에 무거운 하이파워 설룬에도 사용되고 있다.

다양한 디스크와 캘리퍼.

캘리퍼의 종류

플로팅 타입
▶ floating type

패드를 밀어내는 브레이크 피스톤을 캘리퍼 안, 한쪽에만 달고 있는 타입. 브레이크 페달에서 유압을 받은 피스톤이 한쪽에만 있으며, 그 반작용에 의해 반대쪽 패드를 디스크에 압착하도록 작용한다. 항상 디스크에 딱 맞도록 조정되어 좌우 패드의 타임 래그가 변화하지 않으며, 언제나 같은 터치감으로 브레이크할 수 있다. 캘리퍼 자체의 사이즈가 작으므로 가볍고, 고온에서 변형된 디스크 브레이크에도 대응할 수 있다. 서킷에서의 연속 주행 시에는 효과가 저하되기도 하지만, 일반적인 사용에서라면 아무런 문제 없이 주행할 수 있다.

대향 피스톤 타입
▶ Opposite piston type

브레이크 피스톤을 좌우에 달아 양쪽에서 디스크에 패드를 눌러 붙이는 방식. 캘리퍼가 크고 무거워져 알루미늄으로 할 수 밖에 없기 때문에, 캘리퍼의 강성을 확보하기가 어렵다. 서킷에서의 스포츠 주행에는 효과적이지만 본래의 성능을 발휘하기 위해서는, 디스크를 플로팅 마운트하지 않으면 열에 의한 변형으로 디스크가 기울어 패드가 제대로 작용하지 못하게 되어버린다. 시판차에서도 브레이크의 대구경화에 대응해, 4포트, 6포트 등 복수의 피스톤을 사용하여 패드 면적을 확대한 제품이 등장하고 있다. 알루미늄 휠 사이로 보이는 대형의 대향 피스톤은 자동차의 높은 성능을 드러내는 강력한 아이콘이기도 하다.

차체의 움직임을 제어하는 완충장치

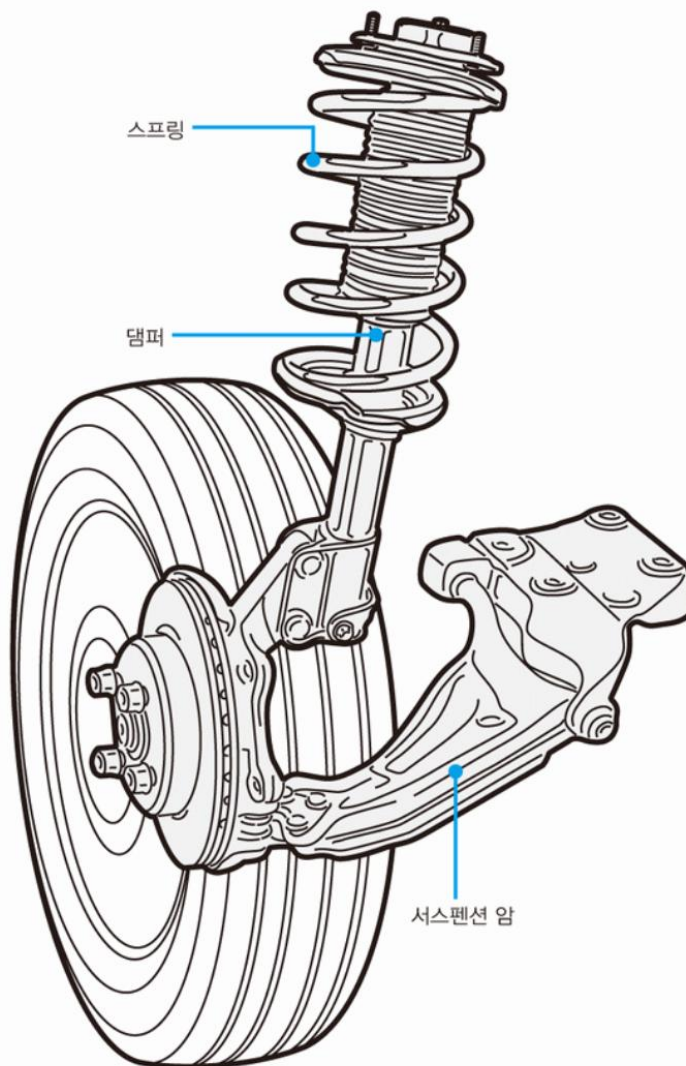
「압축」과 「신장」이라는 단순해 보이는 동작. 하지만 서스펜션이 없다면 올바른 조종은커녕, 제대로 달릴 수 조차 없다.

구조와 원리

서스펜션은 보디와 타이어 사이에 위치하여 차체를 지지하면서 타이어가 받는 충격을 흡수하는 메커니즘으로, 조종안정성에도 큰 영향을 주는 중요한 주행 메커니즘이기도 하다.

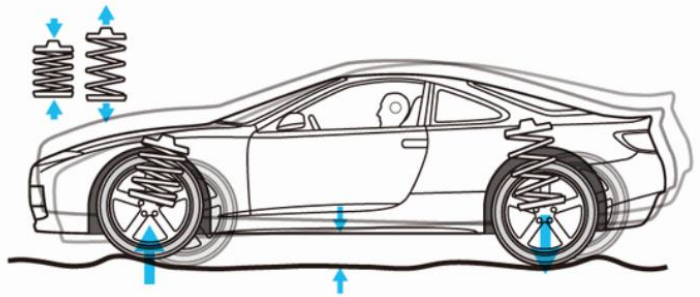
서스펜션은 크게 나누어 좌우바퀴 중 한쪽의 움직임이 다른 쪽에도 영향을 주는 고정식과 좌우바퀴가 따로 움직이는 독립식이 있다. 각각의 대표적인 형식으로는 고정식에는 차축식, 링크식, 토션빔식 등이 있고, 독립식에는 스트럿식, 더블 위시본식 등이 있다.

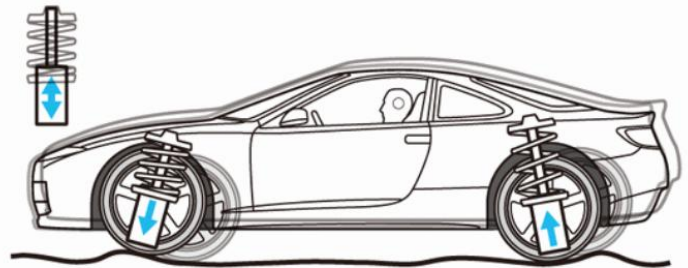
서스펜션 자체는 스프링과 댐퍼, 링크(암) 등으로 구성된다. 스프링은 노면에서 받는 충격을 완화하고, 댐퍼는 스프링의 진동을 억제해 승차감이나 안정성 향상에 기여한다. 링크류는 타이어 움직임을 제한해 타이어가 최적으로 노면과 접지하도록 배치되어 있다. 서스펜션은 스프링이 그 반발력으로 타이어를 노면에 눌러 붙이고 또 그 위치를 결정한다는 중요한 역할도 담당하고 있다.

그림은 스트럿식 서스펜션으로, 일본 승용차에서는 초대 Corolla에 채용된 이래 많은 차종에 사용되고 있는 대표적인 형식이다. 스트럿식은 더블 위시본의 어퍼암을 스트럿 케이스가 겸하는 타입으로, 부품수가 적고 엔진룸을 크게 잡아먹지 않는다는 장점이 있다.

【스트럿식 서스펜션의 예】

달리고 · 돌고 · 멈춤을 관장한다.

스프링
▶ Spring

주행 중 차체에 가해지는 충격을 최초로 받아들여 쇼크를 완화시키는 기능과 함께 일정한 차고를 유지하는 역할을 담당한다. 조종성 외에 핸들링 성능, 주행안정성 등에 큰 영향을 미치는 중요한 팩터다. 스프링 설정만 바꾸어도 자동차의 성격이 확 달라진다고 해도 과언이 아닐 정도. 금속제 코일 스프링이 일반적이며, 공기의 압력을 이용하는 "에어 서스펜션"도 있다.

댐퍼
▶ Damper

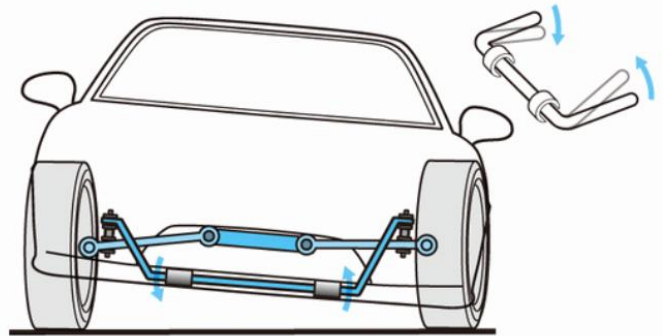
코일 형태의 스프링은 하중을 받을 때 신축하면서 완충작용을 하지만 그 상태에서는 상하 움직임이 멈추지 않는다. 그 움직임을 억제하는 것이 댐퍼(쇼크업소버)의 역할이다. 피스톤이 통 속에 넣은 오일이나 가스 속을 상하로 움직일 때의 저항력을 이용하는 타입이 일반적이며, 「천천히 수축하고 천천히 늘어나는」 움직임을 통해 스프링의 격한 상하운동을 흡수한다. 스프링과 마찬가지로 조종성과 안정성을 좌우한다.

서스펜션 암
▶ Suspension arm

휠의 움직임을 컨트롤하는 파트로 「컨트롤 암」이라고도 불리며, 부시를 통해 보디와 액슬에 부착된다. A암이나 I암 등 형상은 여러 가지이며, 기본적으로 프레스 강판이지만 강도가 높은 주조품이나 스포츠 모델에서는 경량화를 위해 알루미늄 주조품을 사용하는 경우도 있다. 더블 위시본처럼 상하 한 벌의 암인 경우 위쪽을 어퍼암, 아래쪽을 로어암이라고 부른다.

서스펜션 부시
▶ Suspension bush

서스펜션을 구성하는 금속 링크나 암 등의 연결부 혹은 보디 부착부분에 이용되는 완충재. 너무 유연하면 코너링 등에서 큰 하중에 의해 변형되면서 서스펜션에 불필요한 움직임이 생겨 조종성이나 안정성에 손해를 보게 된다. 그 때문에 소재로는 충격흡수성이 뛰어난 고무를 사용하는데, 경주용차에서는 서스펜션의 불필요한 움직임을 없애기 위해 필로볼 같은 금속제 구형 베어링을 이용하는 경우도 많다. 스프링이나 댐퍼 성능을 끌어내는데도 중요한 파트.

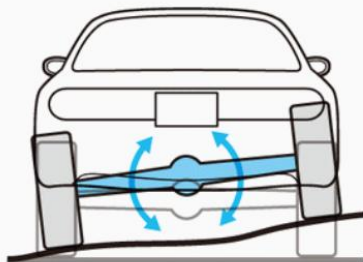
스태빌라이저
▶ Stabilizer

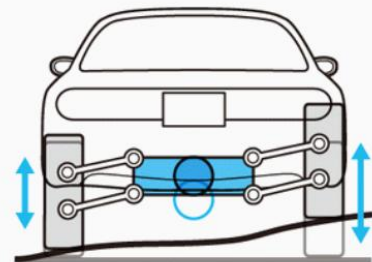
토션바 스프링의 비틀림을 이용해 차체의 롤을 억제하는 안정화 장치. 「안티 롤바」로도 불린다. 양쪽을 서스펜션의 로어암에 연결해 좌우 바퀴가 다르게 움직일 때만 작용한다. 예를 들어 코너링에서는 바깥쪽 바퀴는 수축되고 안쪽은 늘어나게 되는데 이 때 좌우 움직임이 균등해지도록 제어해 자세를 안정화시킨다. 스태빌라이저의 이러한 효과를 이용해, 언더스티어/오버스티어 대응 세팅에 이용하는 것도 가능하다.

서스펜션의 종류

차고를 유지하면서 부하나 충격을 받아내는 기능은 같지만, 그 타입에 따라 서스펜션의 성능이나 특성은 가지가지다. 그 성능, 특성에 따라 코너링을 비롯한 주행성능, 「안전성」과도 연결되는 컨트롤 성능 나아가서는 승차감 등의 쾌적성의 우열이 결정된다.

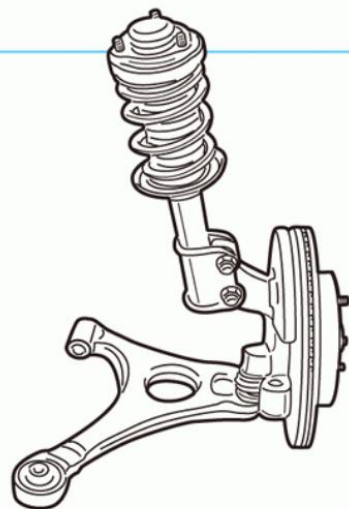
서스펜션은 나날이 진화되어 지금까지 매우 다양한 타입이 태어났다. 꼭 복잡한 구조를 가져야만 고성능이라고 할 수는 없지만 「노면의 요철이나 굴곡에 순간적으로 추종하며, 타이어를 항상 바르게 접지시킨다」라는 서스펜션의 이상을 이루기 위해, 지금도 여러 가지 수법이 검토되고 있다.

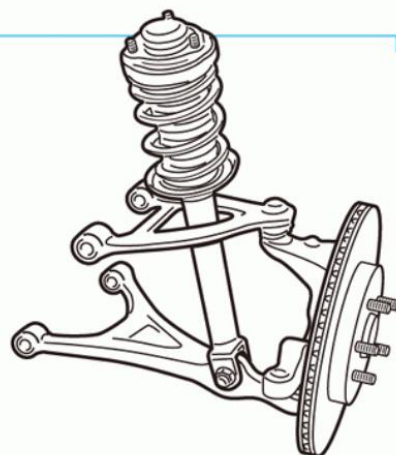
고정식
▶ Rigid axle

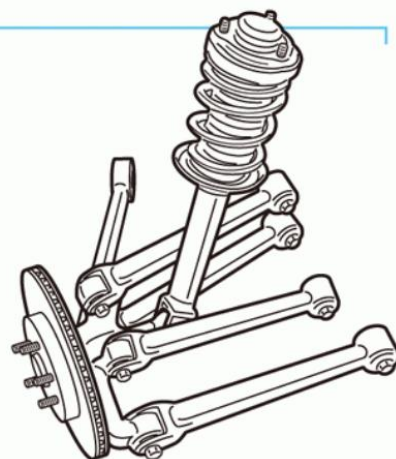
「리지드 액슬」은 좌우 타이어와 휠이 차축(액슬)으로 연결된 구조. 한쪽 바퀴의 움직임이 반대쪽으로 전해지기 때문에 접지성을 잃기 쉽다. 또 액슬 빔이나 액슬 하우징 자체가 무겁기에, 스프링 하중량 면에서도 불리하다. 다만 값이 싸고 강도가 우수하므로 저렴한 후륜구동차의 리어 서스펜션에 채용되는 경우가 많다.

독립현가식
▶ Independent system

좌우 바퀴를 독립시켜 상하로 움직이는 것이 가능하여 요철이나 굴곡 등 노면에 대한 추종성이 우수하다. 특히 후륜구동차의 경우 좌우 바퀴에 매우 효율적으로 파워를 전달할 수 있다는 메리트가 크다. 게다가 작동부의 중량을 줄일 수 있다는 것도 장점으로, 조종안정성과 승차감을 수준 높게 양립시킬 수 있다.

스포츠 모델에 많이 쓰이는 독립식 서스펜션

스트럿
▶ MacPherson strut

기본적으로 스프링과 댐퍼 그리고 로어암으로 구성된 심플한 구조. 스트럿은 힘을 받는 기둥을 의미하며 여기서는 댐퍼를 가리킨다. 위쪽은 「마운트 러버」라 불리는 파트를 통해 보디에 연결되고 댐퍼 아랫부분은 로어암으로 지지된다. 부품수가 적고 무게도 줄일 수 있을 뿐 아니라, 스트로크 길이를 확보하기 쉬워 노면으로부터의 진동을 큰 범위로 흡수할 수 있다는 점이 메리트다. 개발자 이름을 따 「맥퍼슨 스트럿」이라 부르는 일도 많다.

더블 위시본
▶ Double wishbone

위아래가 한 벌로 이루어진 암으로 바퀴를 지지하는 구조. 암이 2개(더블)이고, V자형의 암이 닭의 쇄골(위시본)과 비슷하다는 데서 이름이 유래되었다. 암 형태나 레이아웃에 따라 가감속시의 차체의 자세나 얼라인먼트 변화를 비교적 자유롭게 제어하는 것이 가능하다. 또 고강성을 확보하기 쉽기 때문에 조종성이나 스태빌리티를 중시하는 스포츠 모델에 채용되는 경우가 많다. 다만 부품수가 많고 구조가 복잡하며, 넓은 공간 또한 필요하다.

멀티링크
▶ Multi link

더블 위시본의 진화형이라고도 할 수 있으며 더블 위시본이 상하 2개의 암으로 구성된 데 비해 3~5개의 링크로 액슬 위치를 결정하는 형태다. 각각의 암이 분리되어 있기 때문에 배치의 자유도가 크고 보다 세밀한 세팅이 가능하다. 또 여러 개의 암으로 지지되므로, 지오메트리 변화를 엄밀히 관리하는 것이 가능해 타이어 접지성도 우수하다. 고성능 FF차에서는 고속에서의 거동안정성을 확보하기 위해, 고출력 후륜구동차에서는 트랙션의 확보를 위해 리어 서스펜션에 채용하는 케이스가 많다.

형식에 따라 달라지는 특성.

휠 얼라인먼트

주변에 있는 가구나 의자에 바퀴가 붙어있다면 한번 보기 바란다. 바로 위에서 내려다보면 바퀴의 중심축과 가구와의 연결부분 축 위치가 어긋나 있음을 알 수 있을 것이다. 가구나 의자가 움직일 때 바퀴가 흔들거리지 않고 일정 방향으로 나아가는 것은 바로 이 「어긋남」 덕분이다.

한편 타이어를 떼어내 바닥에 굴려보자. 접지면을 노면에 딱 붙이고(수직으로 서서) 굴리면 타이어는 똑바로 직진한다. 하지만 접지면의 일부분만 사용해(기울여) 굴리면 타이어는 일정 방향으로 커브를 그림을 알 수 있을 것이다.

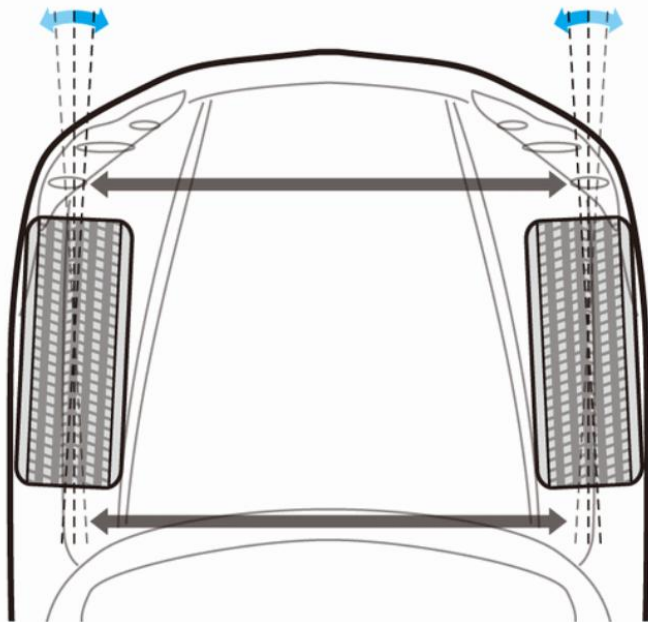
즉 타이어를 자동차에 고정할 때 다양한 각도를 주면 차의 운동조건에 적합한 형태로 타이어를 움직이는 것이 가능해진다. 바로 이것이 휠 얼라인먼트(=서스펜션 지오메트리)다.

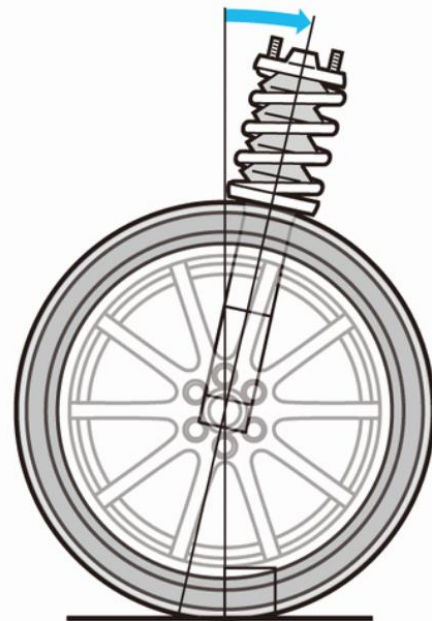
「달리고·돌고·멈춘다」라는 기본은 4개의 타이어가 얼라인먼트 대로 올바르게 달려있음을 뜻한다. 이 「타이어 위치의 결정」에 따라 타이어의 성능을 끌어내고 나아가서는 차의 특성을 결정하는 것이 가능하다.

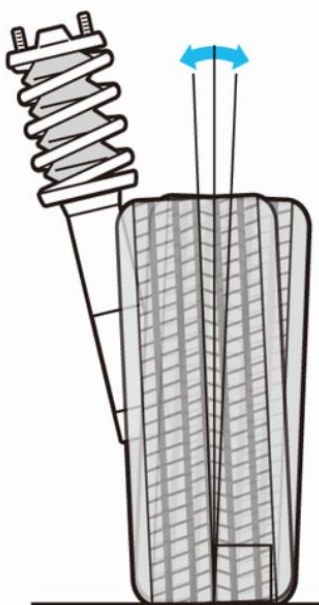
구체적인 휠 얼라인먼트의 대표적 요소에는 오른쪽 페이지에 설명하고 있는 4가지가 있다. 보디를 위에서 보았을 때의 타이어의 각도인 토각, 보디를 옆에서 보았을 때 서스펜션의 경사도인 캐스터각 그리고 보디를 정면에서 보았을 때 타이어의 기울어짐을 뜻하는 캠버각, 마찬가지로 보디 정면에서 보았을 때 타이어와 서스펜션의 부착각도인 킹핀각이다. 이들은 각각 0.1도, 0.1mm의 정밀도로 관리되며 오차가 생기면 직진성이 나빠지고 조작에도 위화감이 생긴다. 이들 각각이 차에 미치는 영향을 확실히 알아두자.

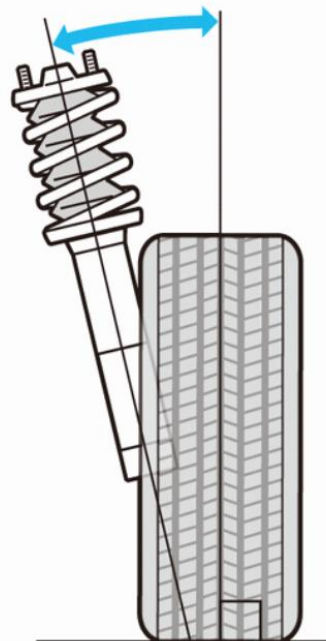
접지성, 조종안정성을 확보하는 타이어의 각도.

토각
▶ Toe angle

차체를 위에서 볼 때 좌우바퀴의 벌어진 각도. 진행방향에 대해 바깥으로 벌어져 있는 상태는 “토 아웃”, 안쪽으로 오므려져 있는 상태가 “토 인”이다. 직진성에 큰 영향을 주며 과하게 설정하면 타이어가 편마모된다.

캐스터각
▶ Caster angle

차바퀴를 옆에서 보았을 때 프론트 서스펜션의 경사각도. 휠의 횡방향 흔들림을 억제하는 효과 외에 셀프 얼라이닝 토크(스티어링을 꺾었을 때 휠을 직진상태로 되돌리려는 힘)에도 작용한다. 좌우가 다르면 각도가 직각에 가까운 쪽으로 차가 흐르고, 제동 시에 스티어링이 멋대로 움직이는 증상이 나타난다.

캠버각
▶ Camber angle

자동차를 정면에서 보았을 때 타이어 아래쪽이 벌어지는 상태가 “네거티브 캠버”, 위쪽이 벌어지는 상태가 “포지티브 캠버”다. 노멀 상태에서는 하중이 가해질 때 아래가 벌어지지 않도록(八자 형태) 미리 위쪽이 벌어진 상태로 설정하고 있다.

킹핀각
▶ King pin angle

타이어를 정면에서 보았을 때의 휠 부착축의 경사각. 기본적으로는 노면으로부터의 입력에 따른 스티어링 휠이 움직이는 것을 억제하기 위한 각도로, 직진성이나 스티어링의 복원력(셀프 얼라이닝 토크) 그리고 조타력에도 영향을 준다.

자동차와 노면의 접점

드라이브 트레인을 통과한 후 서스펜션을 거쳐
최종적으로 엔진 파워를 노면에 전달하는 타이어.
그 어떤 자동차라도 타이어의 성능을 넘어서 달릴 수는 없다.

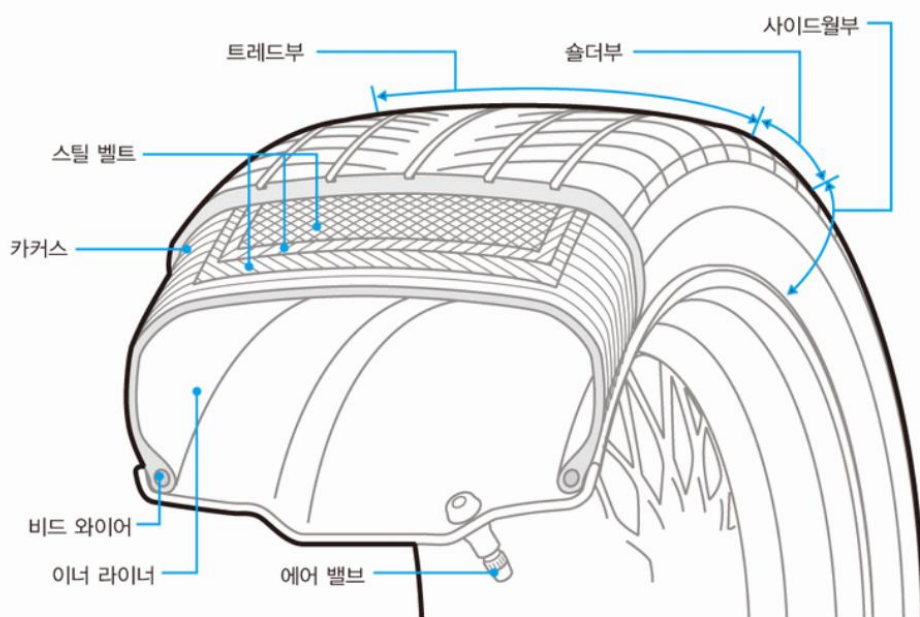
고성능 타이어의 조건

타이어의 기능은 크게 네 가지로 나뉜다. 차 무게를 지지하는 「하중 지지 기능」, 노면으로부터의 충격을 완화하는 「완충 기능」, 달리고 멈추는 「제동 및 구동 기능」 그리고 안정적으로 직선 및 코너를 달리기 위한 「진로 유지 기능」. 이 기본성능들의 밸런스 위에, 타이어마다 다른 성능이나 특성에 따른 튜닝이 이루어진다.

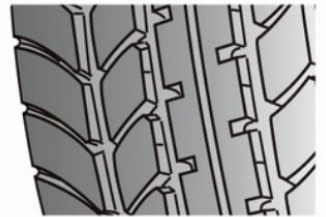
주행성능을 중시하는 스포츠 타이어에서는 제동 및 구동 기능과 진로 유지 기능, 즉 「달리고·돌고·멈추는」 성능의 향상이 중요하다. 구체적으로는 노면에 접하는 접지면의 고무 그립력을 높이고 타이어가 하중을 받을 때의 변형을 억제하기 위해 강성을 올린다. 예를 들어 코너링에서는 스티어링 조작에 대한 반응성이 날카로워지고 선회 속도를 대폭 높일 수 있다.

물론 하이그립 타이어에도 단점은 있다. 코너링 등에서 한계가 높은 반면 한계를 넘어설 때 대응이 어려워 이에 상응하는 운전기술이 요구된다. 또 서스펜션이나 보디에 대한 부하가 증가하면 그립과의 밸런스가 붕괴되어 코너링 중에 롤이 커지는 경향도 있다. 즉 자동차 자체에도 하이그립 타이어를 뒷받침할 수 있는 능력이 요구되는 것이다. 노면과의 마찰력이 크기 때문에 마모가 빠르고 승차감이 나빠지며 소음이 커지는 등 쾌적성을 저해한다는 점에도 주의해야 한다.

한편 젖은 노면에서의 그립 성능은 접지면에 새겨진 홈이 크게 좌우한다. 타이어와 노면 사이에 존재하는 수분을 효과적으로 배출하는 것이 홈의 목적이지만 배수성능과 접지면의 강성은 상대적이며 특히 스포츠 타이어에서는 이 둘 사이의 밸런스 잡기가 어렵다고 한다.

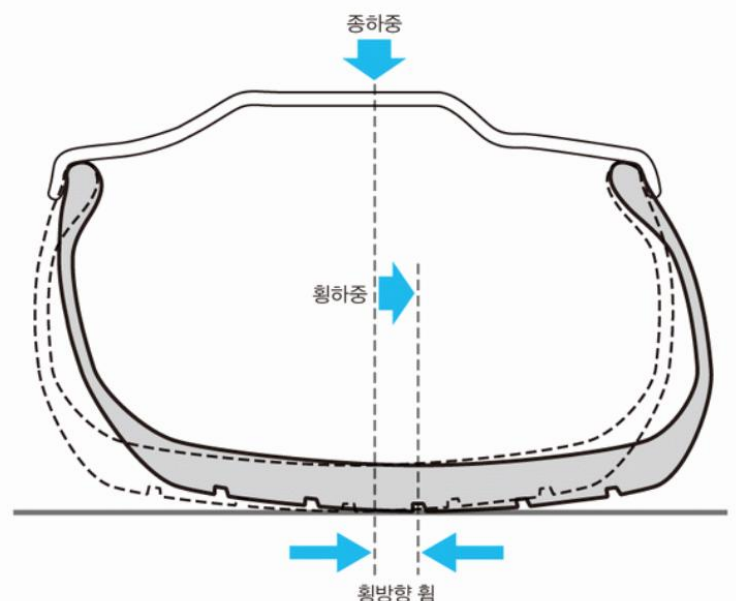
자동차는 타이어의 성능 이상으로는 달릴 수 없다. 그러므로 자신의 드라이빙에 적합한 타이어를 골라낼 수 있는 지식을 길러야 한다.

빠르게 달리기 위한 그립과 강성.

트레드 컴파운드
▶ Tread compound

접지면에 사용되는 고무. 고성능 타이어에 사용되는, 노면에 강하게 그립하는 부드러운 고무는 노면과의 마찰이 크기 때문에 빨리 마모된다. 반면 내마모성을 중시하는 일반차용 제품은 그립 성능을 일정한 레벨로 낮춘 단단한 컴파운드를 사용한다. 또 고무는 어느 정도 발열되지 않은 단단한 상태에서는 본래의 그립을 잘 발휘할 수 없고, 반대로 과열되어도 그립이 떨어진다.

트레드 패턴
▶ Tread pattern

접지면에 새겨진 홈을 일명「그루브」라고 부른다. 노면의 물을(회전과 함께) 배출하는 것이 주된 목적. 보다 배수효과를 높일 목적으로 회전방향을 지정한 방향성 패턴을 채용한 타이어도 적지 않다. 한편 홈은 접지면의 강성을 저하시키는 요인이 되기 때문에 하이퍼포먼스 타이어에서는 자잘한 홈을 없애고 굵은 홈만으로 패턴을 구성하는 것이 일반적이다. 또 코너링 시에 강하게 노면에 밀착되는 바깥쪽에는 홈을 줄여서 트레드 강성을 높이고, 안쪽에는 많은 홈을 넣어 배수성을 높이는 좌우비대칭형 패턴을 채용하는 것도 있다.

케이싱 강성
▶ Casing rigid

트레드를 시작으로 사이드 월이나 각 비드로 구성된 타이어의 단면은 케이스(용기) 형태가 되며, 그 강성을 "케이싱 강성"이라고 부른다. 트레드부에 가해지는 노면으로부터의 힘은 각 부분으로 전해지고 최종적으로는 비드 베이스부로 전해진다. 즉, 가속&감속, 코너링에서 타이어에 큰 하중이 가해질 때, 불필요한 변형을 방지하기 위해서는 타이어 전체의 강성=케이싱 강성을 높이는 것이 중요한 것이다. 다만 고강성화시킬 경우 운동성능이 향상되는 반면, 승차감이 떨어지는 경향이 있다. 타이어의 성격이나 사용목적에 따라 튜닝이 이루어지는 것이다.

알루미늄이 주류인 로드 휠

**1kg의 경량화가 스프링 위 15kg을 경량화하는 것에 필적한다는 스프링 하중량.
발진과 가속, 제동, 코너링에서 유감없이 성능을 발휘하기 위해서는
경쾌한 로드 휠이 반드시 필요하다.**

스프링 하중량

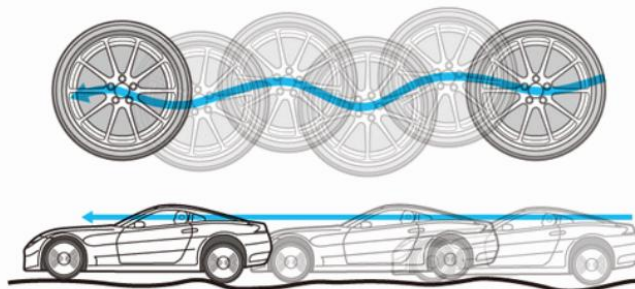
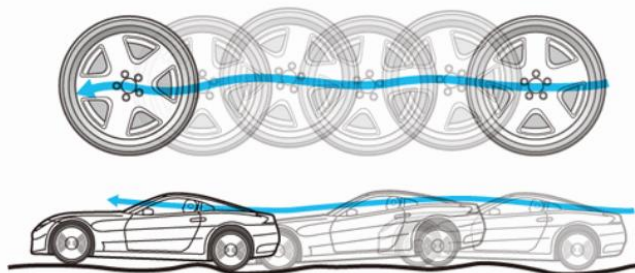
드레스업 아이템으로 강하게 인식되어 있는 알루미늄 휠은, 한편으로 주행성능에 미치는 영향도 적지 않다.

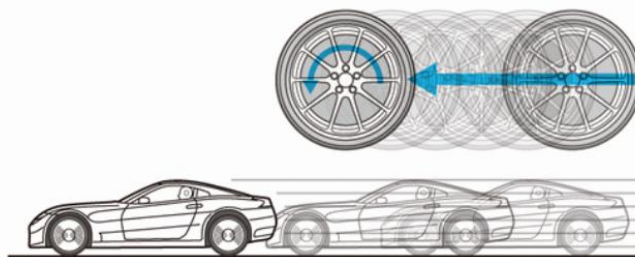
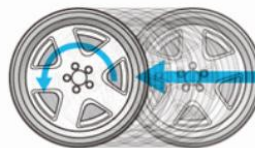
자동차가 가장 동력을 필요로 하는 것은 출발할 때. 바퀴가 정지한 상태에서 움직이기 때문에 많은 에너지가 요구된다. 무거운 휠일수록 돌리기가 어렵고 반대로 가벼울수록 적은 에너지(엔진 파워)로도 쉽게 회전시킬 수 있다.

「스프링 하중량」이라 불리는 이것은 자동차의 운동성에 큰 영향을 미친다. 휠이나 타이어가 가벼우면 발진과 가속 성능이 향상되고 제동 시에는 타이어 회전을 멈추기 쉽다(브레이크가 잘 듣는다). 또 서스펜션의 움직임이 스무스해지므로 노면 추종성이나 승차감이 개선되고 연비도 향상된다는 메리트가 있다.

많은 스포츠카가 철보다 비중이 가벼운 알루미늄 휠을 순정으로 채용하고 있다는 점이 증거로, 그 효과는 「스프링 아래 1kg의 경량화는 스프링 위 15kg 경량화에 상당한다」라고 표현될 정도이다. 모터스포츠의 세계에서는 알루미늄보다 더욱 가벼운 마그네슘제 휠도 사용되고 있다.

주류인 알루미늄 휠은 뛰어난 열전도성이나 열용량 덕분에 브레이크 열을 잘 배출시킨다는 장점이 있으며, 주철제에 비해 내부식성도 높다.

한편 휠을 교환할 때에는 사이즈를 키움에 따라 중량이 증가되기도 하므로 주의가 필요하다. 특히 대폭적으로 사이즈를 확대한 경우, 결과적으로 스프링 하중량이 증가되는 케이스가 대부분이므로 타이어의 로 프로파일화에 의한 메리트와 중량증가에 따른 디메리트를 감안할 필요가 있다.

휠이 가벼우면 타이어의 노면추종성이 향상되고
보다 플랫한 승차감이 얻어진다.

휠이 가벼우면 차가 움직이기 시작할
때 필요한 엔진 파워도 줄여준다.

구조

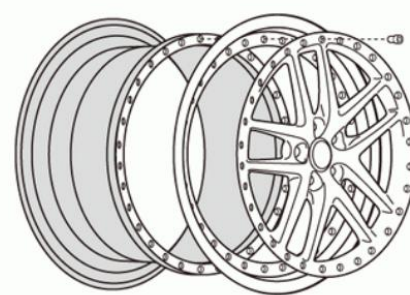
1피스
▶ One piece

림 부분과 디스크부가 일체화된 가장 베이직한 구조. 주조(혹은 단조) 후에 절삭가공으로 완성하므로 치수정밀도가 높다. 비교적 디자인 자유도가 낮은 반면 부품 개수가 적으므로 2피스나 3피스에 비해 가볍고 중량 밸런스도 우수하다.

2피스
▶ Two pieces

디스크부와 림 부분을 따로 제작해 볼트&너트, 혹은 용접으로 결합한 구조. 디스크부와 림부를 다른 소재(알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등)나 제조법(단조/주조)으로 만드는 것이 가능. 오프셋량이나 디스크 디자인의 자유도가 크다.

3피스
▶ Three pieces

겉의 림과 안쪽 림 부분을 용접하고, 디스크부를 피어스 볼트로 조립한 구조. 2피스의 특징과 장점을 가지며(피어스 볼트만큼), 중량면에서는 약간 불리하지만 디자인의 자유도는 가장 높아 패션성을 중시하는 휠에 많이 채용되고 있다.

제조법

주조
▶ Casting

고온으로 녹인 알루미늄을 주형에 부어 넣어 성형하는 제조법. 2피스, 3피스에서는 디스크부 디자인의 자유도가 높은 것이 특징이다. 반면 충분한 강도를 가지기 위해서는 어느 정도의 두께가 필요하기 때문에 스틸제에 비해 중량면에서 어드밴티지가 작다. 값이 싸다는 장점 덕분에 순정품을 포함해 현재의 알루미늄 휠의 주류가 되어 있다.

단조
▶ Die casting

금속 덩어리를 수천 톤의 고압력으로 압축(금속 분자를 정렬시킨다)함으로서 강하고 단단한 재질로 만드는 것이 단조. 주조에 비해 강도가 우수하기 때문에 얇게 만들어 경량화시킬 수 있다는 메리트가 있다. 다만 경도나 인장강도는 좋지만 휨강도가 약하기 때문에 일반적으로 생산 코스트가 높고 디자인에 있어서도 제약이 많이 발생한다. 소재는 알루미늄에 한정되지 않으며, 경주차나 일부 스포츠카에서는 알루미늄보다 가벼운 마그네슘제 단조 휠을 장착한 케이스가 눈에 띈다.

경량화가 가져다주는 많은 장점들.

차체에 작용하는 공기의 힘

**고속성능을 크게 바꿀 만큼 영향력을 가진 보디 디자인.
톱 스피드, 스태빌리티 그리고 경제성능.
이제 에어로 다이내믹스를 빼놓고는 자동차를 이야기할 수 없다.**

공기저항과 양력

고속주행에 있어 「공기저항」이 미치는 영향은 매우 크다. 속도가 빨라지는 만큼 자동차의 전진하려는 힘을 빼앗는 것이 바로 보이지 않는 「공기의 벽」이다.

공기저항에 의한 영향은 80km/h 정도부터 무시할 수 없게 되고 이후부터는 속도의 제곱에 비례해 커진다. 즉 속도가 2배면 4배, 3배면 9배가 되는 것이다. 실제로는 타이어의 「구름 저항」 등도 영향을 미치지만 엔진 출력으로 공기의 벽을 돌파할 수 없게 되는 시점이 바로 그 차의 최고속도가 된다. 최고속도나 고속성능을 중시하는 레이싱카, 스포츠카는 물론, 연비를 중시하는 실용차에서도 공기저항의 저감은 매우 중요해지고 있다.

차고를 높이기보다 낮추는 편이 저항이 적고, 형태 자체도 주행풍을 부드럽게 후방으로 흘려보내는 유선형이나 웨지 셰이프(쐐기형)가 유리하다. 여기에 보디 표면에 불필요한 요철이 없는 플래시 서피스는 공기저항을 저감시키는 디자인 처리라고 할 수 있다.

한편 유의할 점도 있다. 공기저항이 적은 보디는 옆에서 보면 비행기의 날개 같은 형태가 될 때가 많은데, 이와 같은 보디는 위로 흐르는 공기가 아래보다 빠르기 때문에 보디를 위로 띄우는 힘=양력이 발생한다는 문제가 생긴다. 하지만 양력을 억제하기 위해서는 공기저항을 증가시킬 필요가 있기 때문에 공기저항과 양력의 밸런스 포인트를 어디에 둘 것인가가 디자인 개발의 중요한 열쇠가 되는 것이다.

더욱이 고속주행에서는 직진성을 방해하는 옆바람도 무시할 수 없는 요인이다. 에어로 다이내믹스는 공기저항, 양력 그리고 요잉 모먼트까지를 포함하는 토털 밸런스 차원에서 고려할 필요가 있다.

amics

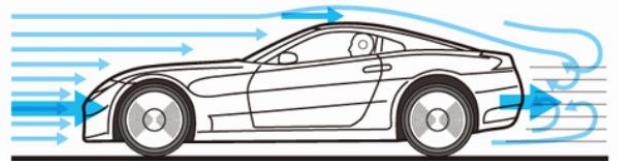
전면투영면적

▶ Frontal area

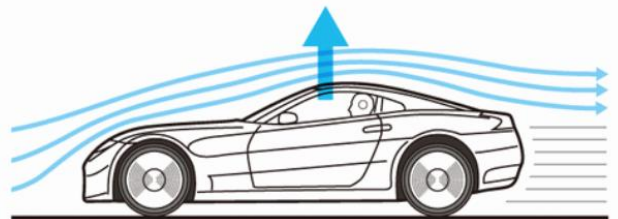
자동차를 정면에서 보았을 때 차체의 실루엣. 그 면적이 넓을수록 주행풍을 많이 받아 저항이 커진다. 스포츠카가 낮은 보디를 채용하는 것은 전면투영면적을 가능한 한 줄이기 위해서이기도 하다. 원박스나 미니밴은 이 부분에서 필연적으로 불리하다.

Cd치-공기저항계수

▶ Constant drag

어떤 물체가 바람을 맞을 때 어느 정도 부드럽게 공기가 흐르는가를 보여주는 수치. 그저 계수이기 때문에 속도에는 영향을 주지 않는다. 실주행에서 문제가 되는 "공기저항"은 이 공기저항계수(Cd)에 전면투영면적을 곱한 것. 따라서 만약 Cd 수치가 크다고 해도 전면투영면적이 적은 스포츠카는 공기저항이 적고, 세단 등에서는 반대가 된다.

CL치-양력계수

▶ Constant lift

구속주행의 주행풍에 의해 발생하는, 차체를 떠오르게 하는 힘의 계수. 반대로 차체를 아래로 누르는 힘을 "다운포스" 혹은 "마이너스 리프트"라고 부른다. 다운포스를 얻기 위해서는 공기저항을 늘려야 하며 또 움직임의 안정화를 위해서는 앞뒤의 다운포스를 최적으로 맞춰야 할 필요가 있다.

CYM치-요잉 모먼트 계수

▶ Constant yawing moment

주행 중에 받는 바람은 앞에서 받는 것만이 전부가 아니다. 다양한 방향에서 바람을 받을 때 차체의 중심축 부근에 발생하는, 차체를 회전시키려는 힘=직진성을 방해하는 힘을 요잉 모먼트라고 부른다. CYM 수치가 적은 차는 횡풍에 강하며 일반적으로 중심 높이가 높은 톨보디는 불리하다.

고속주행을 저해하는 요인.

Review:
Tuning & Settings
3
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex
O.Z RACING

엔진의 전투력 향상

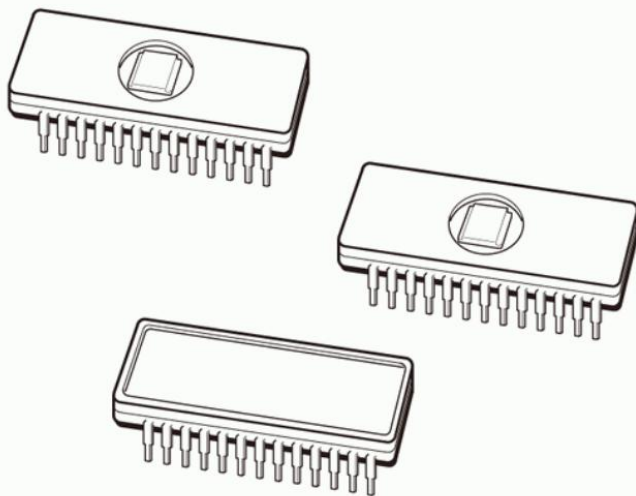
무작정 파워를 올린 엔진은 다루기 어려울 뿐 아니라 결코 빨리 달릴 수 없다. 우선 무엇을 원하며, 어떻게 하면 이상에 접근할 수 있을까를 확실히 파악해, 용도나 코스에 따른 베스트 튜닝을 목표로 해야 한다.

파인 튜닝

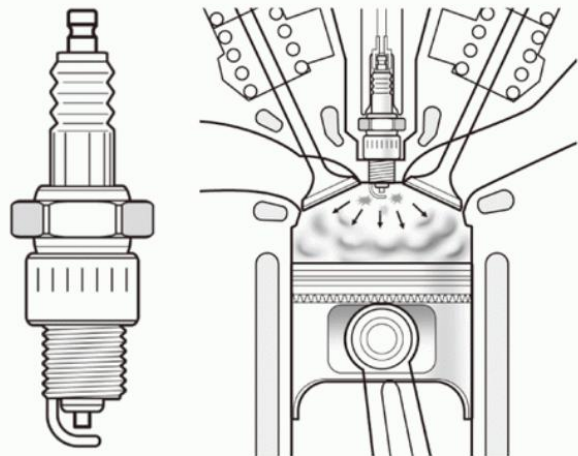
엔진 컴퓨터의 교환이나 흡배기계통의 효율 향상은 엔진의 기초 체력을 향상시키기 위한 것으로, 이어질 엔진 본체의 메커니컬 튜닝이나 터보 같은 본격적인 튜닝 메뉴의 베이스도 된다. 대폭적인 파워업은 바랄 수 없지만, 스트레스가 없는 샤프한 회전 상승이나 리스폰스 향상 등의 효과가 나타난다. 또 엔진에 가해지는 부하가 비교적 적어지고, 고부하 시에 엔진을 보호하는 효과가 있어 내구성에 있어서도 메리트가 크다.

Computer

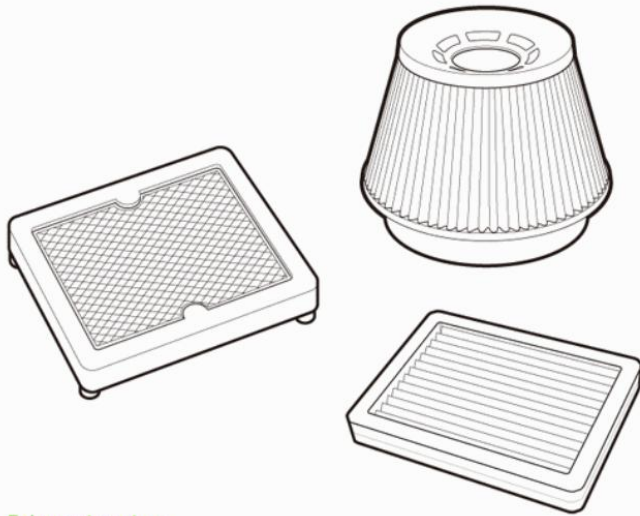
컴퓨터

엔진을 제어하는 정보가 기억되어 있는 ROM(롬)의 테이터를 변경하는 것이 일반적으로, "ROM 튠"이라고도 부른다. 점화시기 외에 공연비, 연료의 분사량이나 타이밍 변경 등이 가능하다. 터보과급압을 높이거나 흡배기계의 파트 교환, 엔진 본체에 손을 댈 때에는 이 ROM 튜닝이 필수이다.

Spark plug

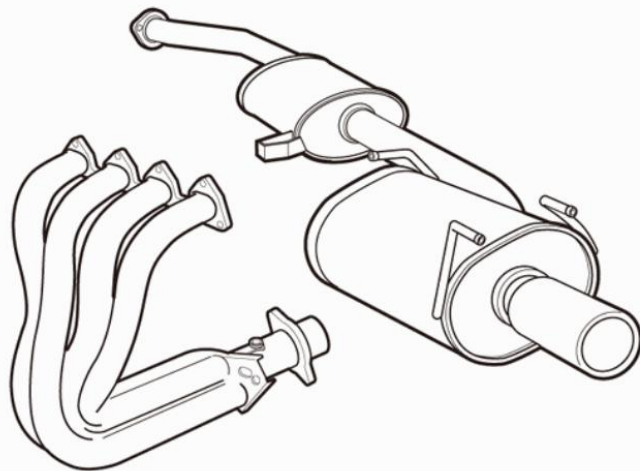
스파크 플러그

연소실내의 혼합기를 점화시켜 정상적으로 폭발시키기 위해서는 강력한 불꽃이 필요하다. 만일 엔진이 정상이어도 고부하 운전을 계속하면 과열상태가 된다. 특히 튜닝으로 출력이 높아진 엔진에서는 폭발력 증대에 따라 연소실 온도가 상승해 이상연소(프리이그니션)를 일으키기 쉬우므로, 플러그의 내열성을 높여 열가가 높은 플러그를 선택할 필요가 있다.

Air cleaner

에어 클리너

엔진이 흡입한 공기속에 포함된 먼지나 이물질을 제거하는 에어클리너도, 기본형은 저항이 커 출력면에서 불리하게 작용하므로 저항이 적은 경기용으로 교환하는 것이 바람직하다. 파워가 높아진다기 보다는 고회전 영역에서의 반응성 향상이나 가속 시 픽업에 효과적이며, 흡기 사운드가 커지는 효과 또한 기대할 수 있다.

Exhausut system

이그저스트 시스템(배기계)

배기저항을 줄임으로서, 엔진의 회전상승이나 액셀 리스폰스가 한층 날카로워진다. 특히 배기 에너지를 이용하는 터보 엔진에서의 파워업 효과가 커, 머플러 튜닝만으로도 10~20%의 출력향상을 바랄 수 있다. 다만 파트를 교환함에 따라 엔진의 토크특성도 달라지게 되므로, 튜닝의 목적에 따라 어떤 특성을 얻을 수 있는지 정확하게 파악해내야 한다.

Engine oil

엔진 오일

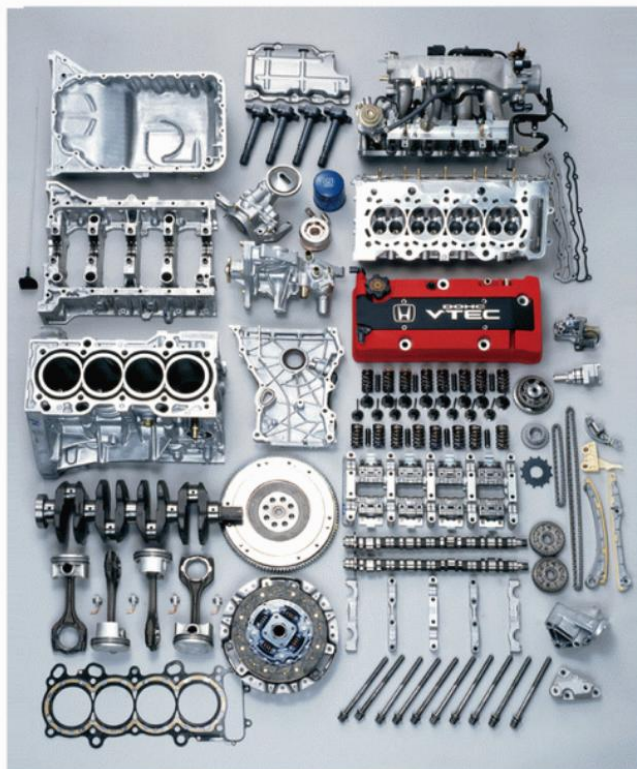
특히 내부 각 부분에 큰 스트레스가 가해지는 고출력 엔진에서 빼놓을 수 없는 것이 고성능 오일이다. 윤활 외에도 냉각, 기밀 유지 등의 역할을 담당하기 때문에 만일 유막이 유실되면 실린더 내의 압력이 떨어지면서 파워가 다운된다. 또 고속으로 움직이는 금속부품의 윤활에 문제가 생겨, 불이 붙는 케이스도 드물지 않다. 또 마찰저항(파트가 움직일 때의 저항)을 일으키는 점성도 중요한 요소로, 현재는 점도가 낮으면서 과격한 사용 상황 아래에서도 안정된 성능을 기대할 수 있는 화학합성오일이 널리 사랑받고 있다.

모든

튜닝의 기본.

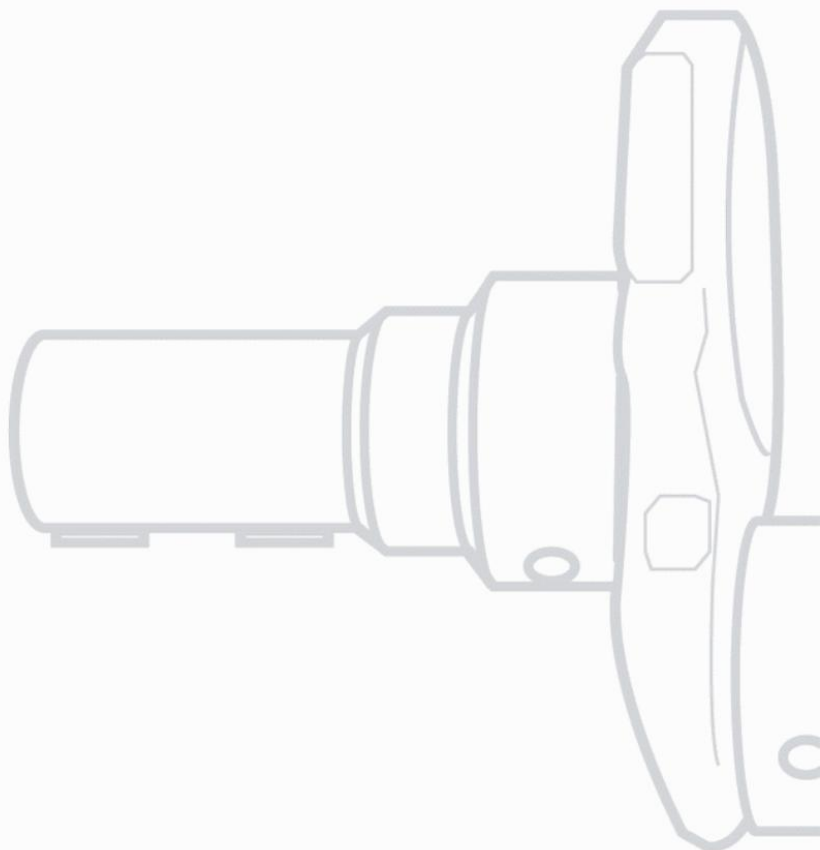
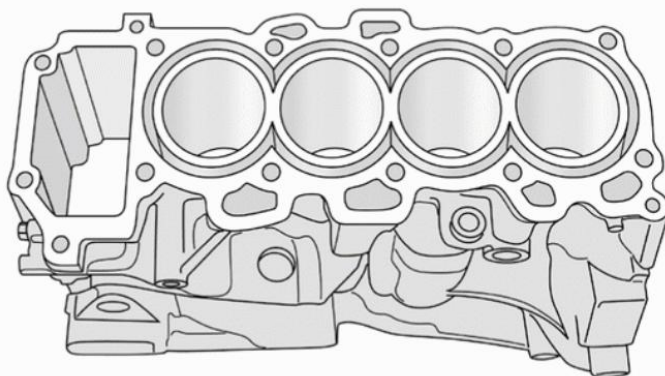
오버홀

양산을 목적으로 한 엔진은 기본(노멀) 상태에서는 가공 상태가 완벽하지 않기 때문에 원래 낼 수 있는 성능 제대로 발휘하지 못하는 경우가 있다. 이를 개선하기 위해서는 모든 파트를 분해해 정밀하게 다시 조립하는 것이 엔진 성능 향상에 도움이 된다. 이른바 「오버홀」이라 불리는 이 작업은, 동시에 각 파트의 밸런스를 조정하고 경량화를 도모함으로서 그 효과가 더욱 높아진다. 또 배기량 제한을 받지 않는 튜닝에서는 엔진 자체의 용량을 키우는 것이, 효과적이면서도 무리없이 높은 파워/토크 향상을 기대할 수 있는 길이다.

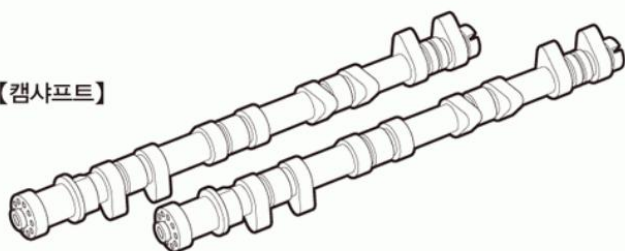
최신 엔진 중에는 노멀 상태에서 이미 세부적으로 꼼꼼하게 조율이 이루어져 있어 오버홀의 여지가 극히 적은 경우도 드물지 않다.

Scale up

배기량 증가

엔진 본체에 손을 대는 튜닝에서 가장 확실하고, 또 높은 효과를 얻을 수 있는 메뉴. 많은 혼합기를 연소시킴으로서 보다 큰 파워를 얻는다. 수법으로는, 실린더 보어(내경)를 갈아내 직경이 큰 피스톤을 끼우는 보어업과 크랭크샤프트나 커넥팅 로드 등을 교환해 피스톤 스트로크(행정)를 키우는 스트로크업의 두 가지가 있다. 같은 배기량 확대라 해도 이 두 가지는 성격이 다르다. 전자는 회전수를 높여 파워를 얻는데 비해, 후자는 중저속 토크 향상을 기대할 수 있다. 또한 최근 엔진은 경량화를 위해 실린더 블록 두께가 얇아져 대폭적인 보어업이 어려워지고 있다.

【실린더 블록】

Balancing

밸런스 잡기

노멀 상태에서는 약간씩이기는 하나 기통별 피스톤이나 커넥팅 로드에 중량 오차가 있다. 또 크랭크샤프트에 회전 밸런스가 맞지 않으면 저항이 생겨 파워 저하의 요인이 된다. 그래서 엔진을 분해해 파트 하나하나의 중량을 정밀하게 계측해 균일하게 만들고, 여기에 회전 밸런스를 보정해 스무스하게 엔진을 돌림으로서 효율적으로 파워를 끌어내는 것이 밸런스 잡기다. 엔진에 대폭적인 개조가 허락되지 않는 원메이크 레이스에서는 필수불가결한 튜닝이라고 할 수 있다.

Lightweighting

경량화

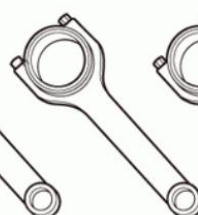
초고속으로 움직이는 엔진 파트에는 관성이 작용하여 마찰손실이 발생하며, 이로 인해 파워가 손실된다. 이를 해결할 수 있는 것이 각 파트의 경량화로, 기본적으로 밸런스 잡기화와 함께 시행한다. 단, 파트를 얇게 만들면 내구성에 문제가 발생한다.

Build up

강화

본격적인 튜닝을 실시한 엔진에서는 연소력이 커지기 때문에 각부 파트에 큰 부하가 걸려 파손될 위험이 있다. 강도를 높인 파트는 반드시 필요하지만 한편으로는 경량화도 무시할 수 없다. 그래서 사용하는 것이 티타늄합금을 비롯한 신소재나 단조방식으로 만든 강화파트로, 노멀과는 비교할 수 없는 가벼움과 강도, 강성을 겸비하고 있다. 레이스/튜닝 엔진에서는 알루미늄제 단조 피스톤, 티타늄합금 커넥팅 로드 등이 상식화 되어있다.

【캠샤프트】

【피스톤】

【커넥팅 로드】

잠재능력을 끌어낸다.

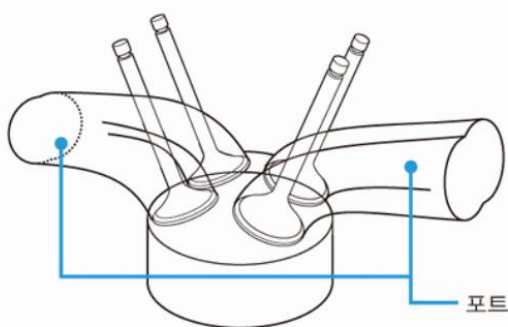
고회전화

파워는 「토크×회전수」이므로 고출력화는 「얼마나 엔진을 고회전으로 돌리는가」에 달려있다. 여기에서의 튜닝은 실린더헤드와 관련된 것이 중심으로, 고회전역에서의 흡배기 효율 향상이 열쇠가 된다. 캠의 작동각을 키우는 하이캠(→P.129)으로의 교환이 주류이며 동시에 밸브 주변 강화도 필요한데, 흡배기 포트 확대와 같은 효과를 얻을 수 있어 고회전에서 압도적인 파워를 얻을 수 있다. 참고로 엔진 특성으로 보면 고회전에 적합한 것은 숏스트로크형. 흡기효율이 높고 롱스트로크형에 비해 피스톤 스피드 자체도 빠르지 않기 때문이다.

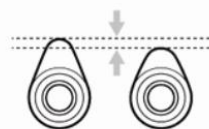
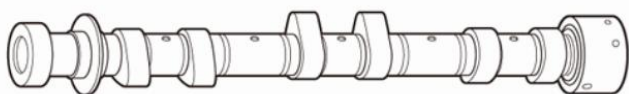
하이캠으로 교환하는 것만으로 엔진특성을 고회전・고출력형으로 변화시키는 것이 가능하다. 한편 중저회전 토크가 극단적으로 약해져 순수 레이스용에서는 아이들링조차 제대로 되지 않는 경우도 있다.

Port

포트

혼합기나 연소 후 배기가스의 통로인 흡기/배기 포트는 가능한 한 매끈한 편이 바람직하지만, 노멀 엔진의 경우 코스트 문제 때문에 꼼꼼하게 마무리된 경우가 드물어 흡배기 저항의 원인이 된다. 주물 특유의 거친 표면이나 구멍의 절대적인 크기, 일그러짐 등의 문제로, 이를 연마해 거울처럼 표면을 매끈하게 마무리하면 스무스한 흡배기가 가능해진다. 포트의 연마만으로도 고회전 필링이 향상되지만 캠 교환이나 헤드 가공 등 실린더 헤드 전체의 튜닝과 동시에 진행하지 않으면 본래의 효과는 얻기 어렵다.

Camshaft

캠샤프트

캠샤프트는 흡배기 밸브를 여닫는 축을 말하며 하이캠=하이리프트캠이란 캠의 산부분을 높게 만들어 밸브가 열리는 시간을 늘린 캠샤프트를 의미한다. 즉, 흡배기 포트를 확대한 것과 마찬가지의 효과를 얻을 수 있는 것이다. 저회전 영역에서의 토크가 약해지는 반면 고회전역 파워는 극적으로 향상된다. 신경질적인 특성임에는 부정할 수 없지만 자연흡기식 엔진에서 고출력화를 추구할 때 가장 많이 이용하는 튜닝이다.

오른쪽이 노멀캠, 왼쪽이 하이캠. 하이캠은 산부분이 높은 만큼 밸브가 열리는 양을 키울 수 있다.

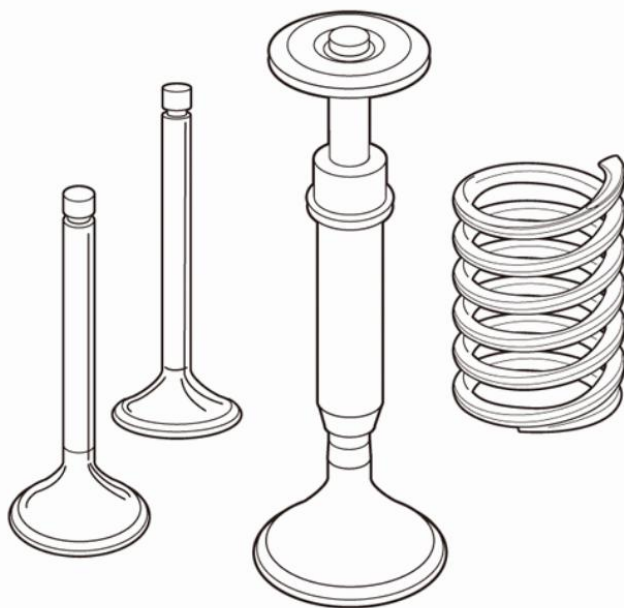
Valve

밸브

포트 연마나 캠 교환과 동시에 고려하는 것이 밸브의 대구경화. 흡기 밸브측의 개구면적을 확대함으로서 흡기량을 증가시켜 충전 효율을 높이기 위한 튜닝이다. 큰 밸브는 무거워지기 때문에(관성이 증가) 그 대응책으로서 경량의 티타늄제로 바꾸는 경우가 많다.

Valve spring

밸브 스프링

고회전으로 엔진을 돌릴 때 생기는 밸브 스프링의 이상진동, 즉 서징(캠의 움직임에 스프링의 신축 스피드가 따라가지 못하는 상태)을 막는다는 의미에서 스프링의 강화는 불가결하다. 특히 하이캠을 조립한 경우에는 필수적으로, 노멀 스프링 그대로 두면 밸브의 리프트량 증가에 스프링이 견디지 못하여 최악의 경우 스프링이 밀착되어 캠이 잠기고 밸브와 피스톤이 접촉하는 사태도 발생할 수 있다. 다만 너무 강한 스프링을 조합하면 엔진의 저항이 될 뿐 아니라 밸브 주변의 마모를 앞당기는 원인이 되므로 주의해야 한다.

회전을 올려 파워를 얻는다.

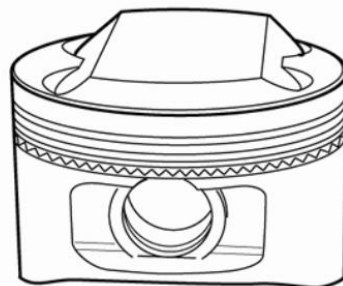
고압축화

엔진은 피스톤을 밀어올려 혼합기를 압축하는 힘이 늘어날수록 연소력이 높아져, 큰 파워와 토크를 끌어낸다. 여기에서의 튜닝은 실린더 헤드의 연소실용량 설계가 포인트이다. 다만 압축비를 너무 올리면 엔진을 돌릴 때(압축할 때) 저항으로 작용할 뿐 아니라, 이상연소의 원인이 될 수도 있으므로 주의해야 한다. 연료 조절 외에 점화 시기를 늦추고 콜드타입 플러그로 교환한다거나, 폭발력이 늘어날 때를 피스톤이나 커넥팅 로드 강화 등의 대응도 필요해진다.

Piston

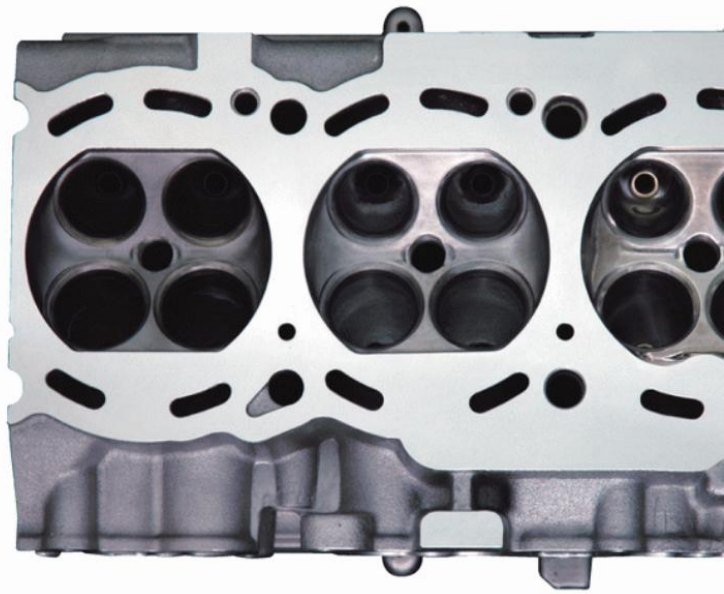
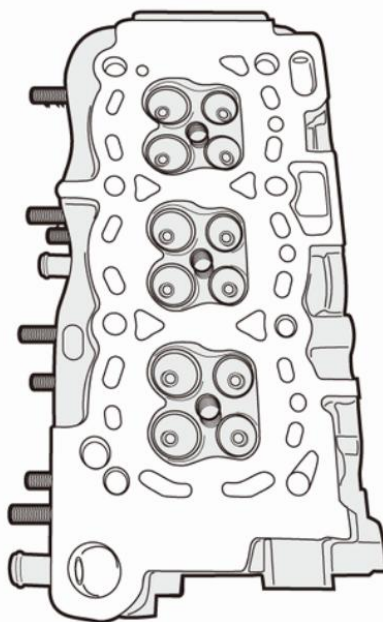
피스톤

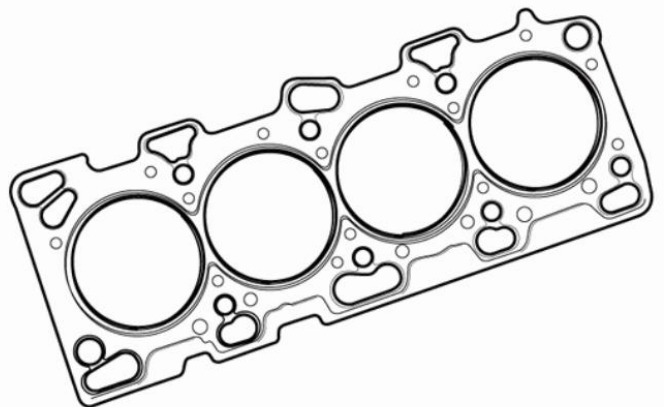
압축비를 높이는 가장 대표적인 튜닝이 고압축비 피스톤으로의 교환이다. 윗부분이 볼록한 형태로 되어 있는데서도 알 수 있듯이, 노멀 형태의 피스톤에 비해 연소실 용적을 축소시켜 압축비를 높여준다. 다만 압축비를 높이면 혼합기온도, 연소온도가 높아지면서 노킹=이상연소가 발생하기 쉬우므로 혼합기의 흐름을 개선하는 등의 대응책이 요구된다.

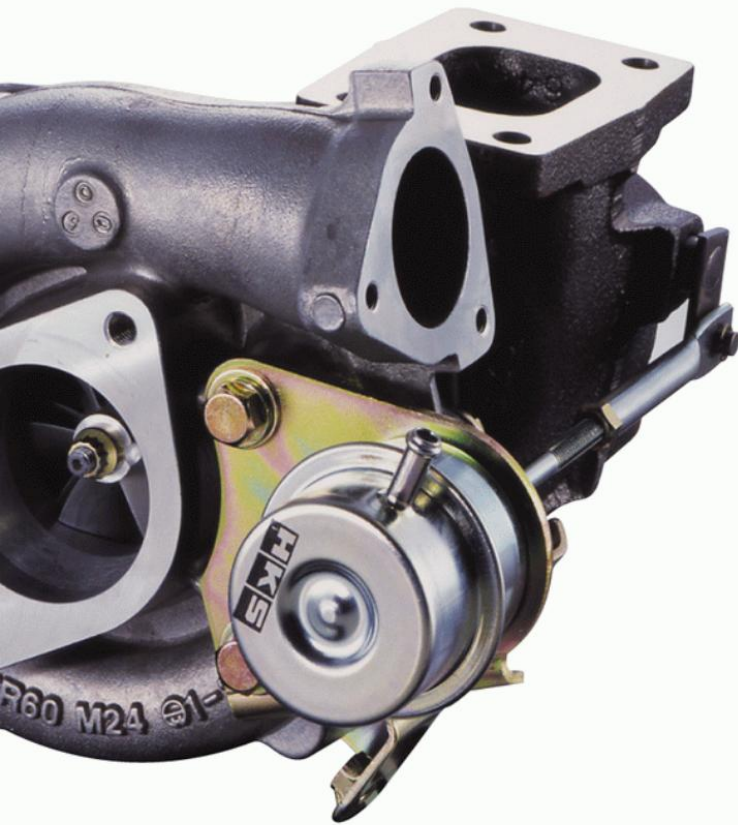
고압축비화는 고회전화와 동시에 하는 것이 정론. 또 연소력이 커지는 만큼 엔진 내부의 보강도 필요해진다.

Burner
연소실

연소실의 가공은, 본격적인 것으로 흡배기나 점화 효율이 우수한 펜트루프형으로 가공하는 수법이 있지만 고압축비에 따른 노킹에 대응하기 위한 「스퀴시 가공」이 주를 이룬다. 이는 연소실 내에 높은 압력이 걸리는 스퀴시 부분을 깎아내 약간 압축비를 낮추는 작업으로, 스퀴시 가공을 하면 각 연소실마다 용적에 차이가 생기므로 가공과 동시에 연소실의 정밀한 용적 계측이 필요하다.

Cylinder head
실린더 헤드

실린더 헤드의 아랫면을 0.1mm 단위로 연마하는 가공을 일반적으로 "헤드 면연"이라고 한다. 기본적으로 연소실의 용량을 줄여 압축비를 높이기 위해 시행하며, 엔진을 과격한 조건하에서 사용할 때 실린더 블록과 실린드 헤드 사이의 열에 의한 왜곡(=압축이 새는 원인이 된다)을 보정할 때에도 실시한다.

Head gasket
헤드 개스킷

실린더 헤드와 실린더 블록 사이에 끼워 기밀성을 유지함으로써 가스 등이 새는 것을 방지하는 플레이트가 헤드 개스킷이다. 그 두께를 노멀보다 얇게 하면 헤드를 깎아내는 것과 마찬가지의 효과, 즉 연소실 용량의 축소에 따른 압축비 향상을 얻을 수 있게 된다. 최근에는 개스킷의 소재로서 열전도율이 높고 강도가 우수한 스테인리스재가 사용되면서 누출 방지와 동시에 압축비의 적정화를 실현하고 있다.

폭발력을 높인다.

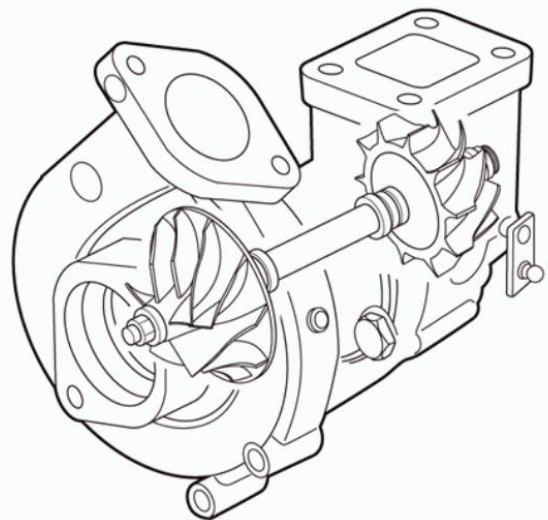
대량의 압축공기를 들여보낸다.

Turbo boosting pressure
터보 과급압

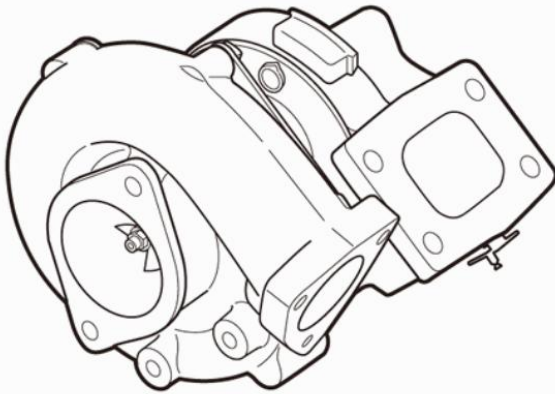
터보차저가 어느 정도의 공기를 빨아들여 압축하는가를 보여주는 수치가 과급(부스트)압. 단위는 압력단위인 「kg/cm^2」으로 표기하며, 이 수치를 높이는 만큼 파워를 높일 수 있다. 다만 이와 동시에 대량의 공기에 걸맞은 연료가 필요하므로, 컴퓨터에 의한 연료조정이나 대량의 연료를 분사하기 위한 인젝터 등으로 교환할 필요가 있다. 또한 엔진 내부에 있어서도 늘어난 폭발력에 견딜 수 있는 강도가 요구된다.

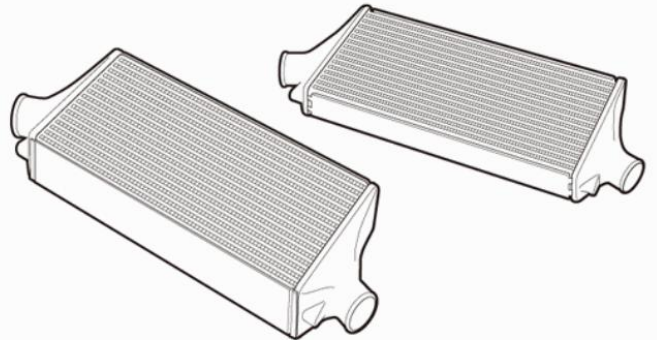
High flow turbine
하이 플로 터빈

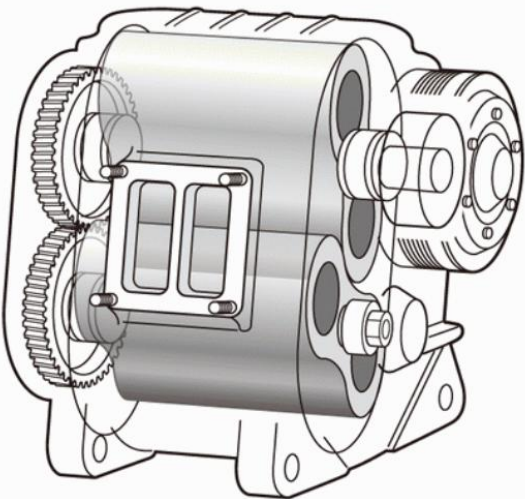
흡입공기를 압축하는 컴프레서 휠 내부를 확대해 풍량을 키운 터빈으로, 기본적으로는 노멀 터빈을 분해해 컴프레서 휠만 교환한다. 「컷백」이라는 처리를 통해 터빈의 관성질량을 줄였기 때문에 빠르게 부스트압을 올릴 수 있는 것이 특징이다. 리스폰스를 거의 희생하지 않고도 고출력화가 가능하다.

과급기

과급압 향상이나 과급기 자체의 크기를 키우면 엔진 본체에 손을 대지 않고도 비교적 손쉽게 배기량을 키운 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 또 메커니컬 튠과 조합하면 보다 강력한 파워업도 기대할 수 있다. 다만 자연흡기방식 이상으로 엔진이 큰 스트레스를 받기 때문에 그에 대한 대책이 반드시 필요하다. 자연흡기 엔진에서는 고압축비화가 파워업의 열쇠가 되지만, 과급기 엔진에서는 오히려 압축비를 낮추어 이상연소나 폭발력 증가에 따른 부품 손상을 막기 위한 조치가 필요하다. 터보차저의 경우는 타임 래그가 생기기 쉬우므로 반응성이 극단적으로 나빠지지 않도록 하기 위한 노력이 필요하다.

Big turbine
대용량 터빈

크기에 따라 출력한계가 결정되는 터빈 본체를 노멀보다 큰 사이즈로 교환하는 튜닝. 비약적인 파워업이 기대되는 반면, 큰 터빈을 돌리므로 반응성이 악화된다는 단점이 있다. 대량의 배기 에너지를 만들어낼 수 있는 배기량이거나 엔진 자체의 포텐셜이 없다면 저회전역에서 토크가 약해지고 고회전 영역에 서밖에 터보 효과를 얻을 수 없는 등, 다루기 어려워진다는 점도 고려해야 한다.

Inter cooler
인터쿨러

터보차저로 압축해 고온이 된 공기를 식힘으로써 엔진의 충진 효율을 높여 파워업에 도움을 주는 파트가 인터쿨러다. 시판차에도 거의 장착되어 있으며 사이즈를 키우면 보다 높은 냉각효율을 얻을 수 있다. 다만 너무 큰 인터쿨러를 달면 압축된 공기가 내부에 머무르는 시간이 길어지면서 과급압이 떨어지게 된다. 이것을 압력손실이라고 하며, 경우에 따라서는 과급압이 10~20%나 떨어지는 원인이 되기도 한다.

Super charger
슈퍼차저

압축공기를 엔진에 밀어넣어 파워를 얻는 원리는 터보차저와 같다. 즉 슈퍼차저도 과급압을 높임으로서 파워업이 가능해지는 것이다. 터보와 마찬가지로 자연흡기 엔진에 볼트온으로 장착할 수 있어 비교적 쉽게 대폭적인 파워업을 이끌어낼 수 있다. 구조상 액셀의 반응성을 저해하지 않으므로, 테크니컬 코스에서 특히 큰 메리트로 작용한다.

로터리 엔진

로터리 엔진의 튜닝 포인트는 흡기효율의 향상. 즉 흡기 포트를 확대해 많은 혼합기를 연소실로 보내는 것이다. 이 자체는 왕복형 엔진에서 하이캠을 조합한 효과와 비슷하지만 포트의 이동이나 확대에 따라 파워업의 정도나 특성이 크게 달라진다는 점에 주의해야 한다. 예를 들어 경주용차의 「페리페럴 포트」에서는 저속 토크가 극단적으로 줄어들어, 일반적인 주행에서는 매우 다루기가 어려워진다. 또 로터리 엔진의 구조상, 배기 포트와 터보차저의 사이가 짧기 때문에 배기 에너지로 효율적으로 터빈을 돌릴 수 있다. 포트 튜닝과 터보 튜닝을 조합하면 보다 효과적으로 성능을 높이는 것이 가능하다.

로터리 엔진은 터보와의 매칭이 우수하다는 점도 매력. 고출력과 다루기 쉬움을 양립시키는 포트 튜닝+터보가 정석이다.

포트 튜닝이 고출력화의 핵심.

Bridge port

브리지 포트

사이드 포트 튜닝 수법의 하나. 깎아낸 포트의 형태가 교각 형태와 닮아 이렇게 불린다. 2개의 포트 구멍 사이에 브리지가 생기는 것은, 포트를 한계까지 넓혔을 때 아펙스 실이 통과하는 라인을 남겨두어야 하기 때문이다.

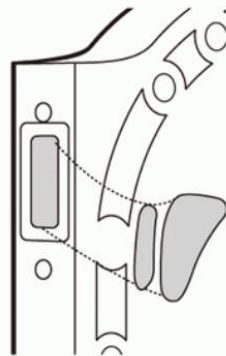
Balancing

밸런스 잡기

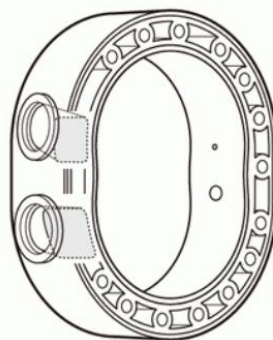
왕복형 엔진에 비해 구조가 심플하고 부품수가 적은 로터리 엔진에서는 각 파트의 정밀도를 높이고 꼼꼼하게 조립하는 것만으로도 본래의 능력을 끌어내는 것이 가능하다. 포인트는 「실 세트」라 불리는 작업. 왕복형 엔진의 피스톤링에 해당하는 아펙스 실을 모두 같은 간극으로 조절하는 것으로, 하우징 내부의 로터가 올바르게 압축을 유지하면서 놀랄정도로 부드럽게 회전하게 된다. 반대로 말하면, 실이 잘 맞지 않으면 출력저하로 직결되고, 최악의 경우 불이 날 수도 있다.

Side port

사이드 포트

사이드 하우징에 설치된 흡기 포트를 확대해 통상보다 빠르게(다량으로) 혼합기를 흡입함으로써 출력을 높인다. 왕복형 엔진에서 하이캠을 조합한 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

Peripheral port

페리페럴 포트

노멀 엔진 사이드 하우징에 달린 흡기포트를 특수한 접착재로 메우고, 로터 하우징 위쪽에 새로운 포트를 뚫는 수법. 혼합기를 직접적으로 로터 하우징 안으로 보내기 때문에 고회전역에서 큰 파워를 낼 수 있다는 점이 장점이다. 한편 저속/고속으로 분할해 혼합기를 보내므로 통상 회전수 영역에서 토크를 확보하는 노멀(사이드 포트) 엔진의 기능을 잃게 되어, 고회전 영역에서의 압도적인 파워와는 대조적으로 저속 토크가 거의 나오지 않는 신경질적인 특성으로 일변한다.

Combination port

컴비네이션 포트

크로스 포트라고도 불리며, 사이드 포트(혹은 브리지 포트)와 페리페럴 포트를 조합하는 튜닝이다. 저회전에서는 사이드 포트, 고회전에서는 페리페럴 포트만이 작동하는 시퀀셜 타입으로, 각 포트의 장점을 모두 취할 수 있다.

구동계의 조율

**엔진 퍼포먼스를 스피드로 전환하는 드라이브 트레인.
파워를 빠짐없이 노면에 전달하는 높은 효율과 함께,
고출력을 확실하게 받아내는 강인함이 요구된다.**

엔진 성능을 끌어낸다.

파이널 기어비

엔진의 파워를 최고속도 중시 혹은 가속 중시로 배분하는 것은 파이널 기어의 기어비 변경을 통해서 가능한 일. 즉, 최종기어비를 변경하는 것이다. 특히 최종기어비를 로 기어화 시키면, 까다로운 고회전 및 고출력형 엔진의 성능을 보다 쉽게 끌어낼 수 있게 되며, 가속성능의 큰 향상 또한 기대할 수 있다.

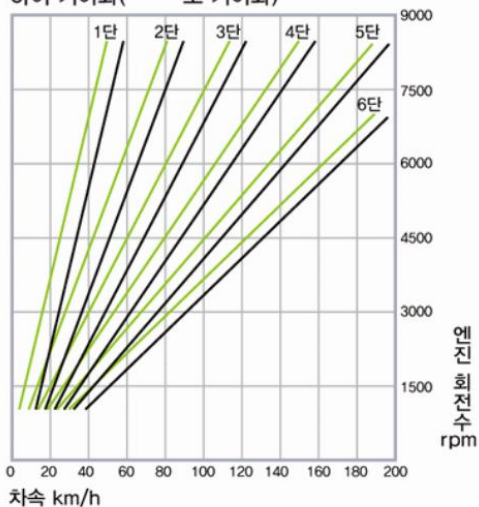
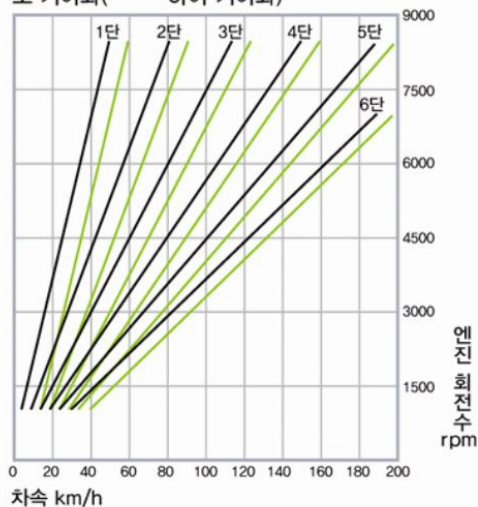
High geared

하이 기어화

낮은 엔진 회전수에서 차의 속도를 끌어올릴 수 있기 때문에 톱 스피드를 중시하는 상황에서 유리하게 작용하며, 연비면에서의 메리트도 크다. 반면, 엔진 회전을 올려 파워/토크밴드에 들어가기까지 시간이 오래 걸리기 때문에 가속이 완만해짐은 부정할 수 없다. 타이트 코너에서의 빠져나올 때는 유효한 파워 및 토크를 끌어내기가 어려워 충분한 가속력을 얻기 힘들다.

Low geared

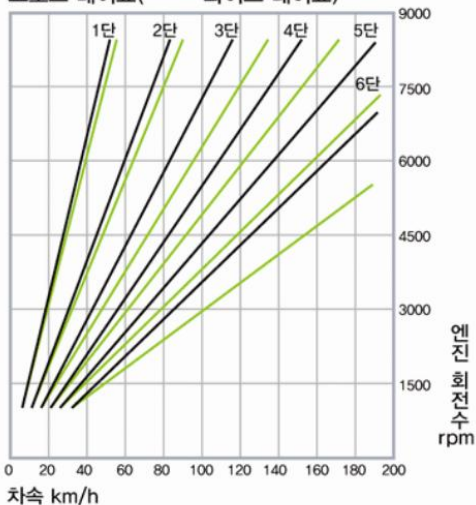
로 기어화

3단이나 4단 같은 비교적 높은 기어 포지션에서도 고회전을 유지할 수 있기 때문에 최고속도는 희생되지만 유효한 파워와 토크를 꺼내 쓰기 쉽고, 가속성능을 높일 수 있다. 또 코너링에서도 엔진 성능을 최대한 사용해 가속할 수 있기 때문에 특히 타이트 코너가 많은 테크니컬 코스와의 상성이 좋다. 다만 액셀 조작에 대한 엔진의 반응이 날카로므로 회전한계를 넘어가지 않도록 주의할 필요가 있다.

트랜스미션 기어비

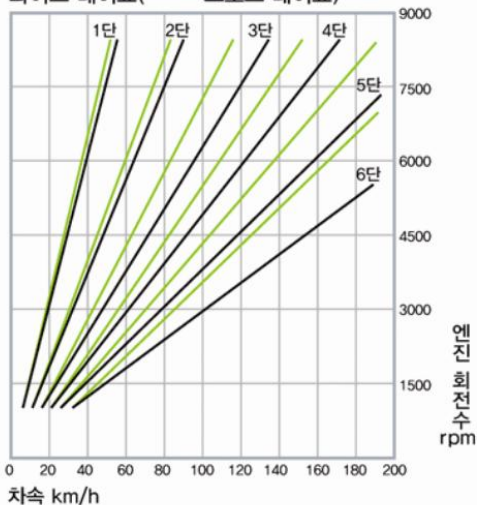
일반적으로 트랜스미션 튜닝이라고 하면 기어비의 크로스 레이쇼화(이웃하는 단수의 기어비를 근접시키는 것)를 의미하며 이로써 유효한 파워밴드를 유지하기 쉬워진다. 가속성능 또한 크게 향상되지만 파이널 기어와의 조합에 따라서는 엔진 회전한계를 넘기기 쉬워지므로 자주 변속을 해야 한다.

Close ratiot

크로스 레이쇼

매뉴얼 트랜스미션의 각 기어비를 근접시킨 것이 크로스 레이쇼 트랜스미션이다. 비율을 좁혔기 때문에 시프트업 시에 엔진의 회전수 낙하가 줄어들어 효율적으로 파워를 끌어낼 수 있다. 특히 하이캠을 조합해 파워밴드가 좁아진 자연흡기 엔진에 적합한 기어라고 할 수 있다. 코스의 레이아웃에 따라 파이널 기어비와의 매칭을 포함해 세팅을 변경하는 것이 일반적이다.

Wide ratio

와이드 레이쇼

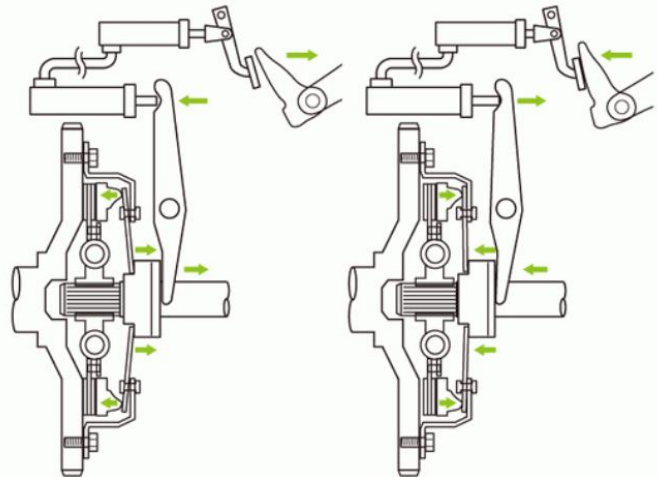
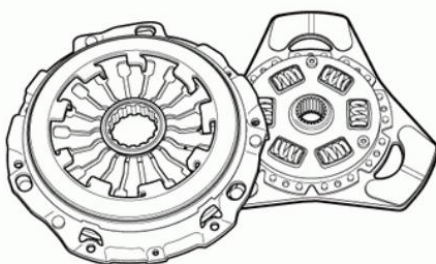
하이 기어화와 마찬가지로 일반적인 시판차에서는 연비와 효율을 중시해, 엔진 회전수를 낮게 억제할 목적으로 각 기어의 비율을 크게 설정한다. 그 결과 시프트업을 해도 엔진의 파워가 마일드하게 노면에 전달되어 가속력이 희생되고 만다. 보통 1단에서 5단 혹은 6단 모두를 와이드 레이쇼로 설정하는 경우는 거의 없고, 발진과 가속에 사용하는 1단과 2단을 크로스 레이쇼, 3단 이상을 와이드 레이쇼로 설정해 엔진 특성이나 코스 레이아웃 등에 대응하는, 크로스와 와이드를 조합하는 경우가 많다.

구동 손실을 억제하고, 리스폰스를 높인다.

클러치

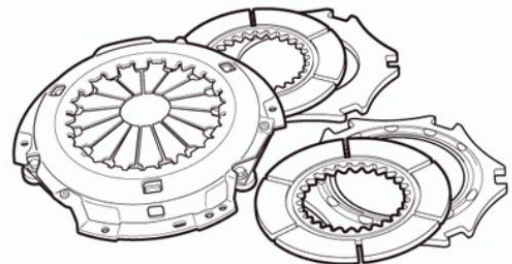
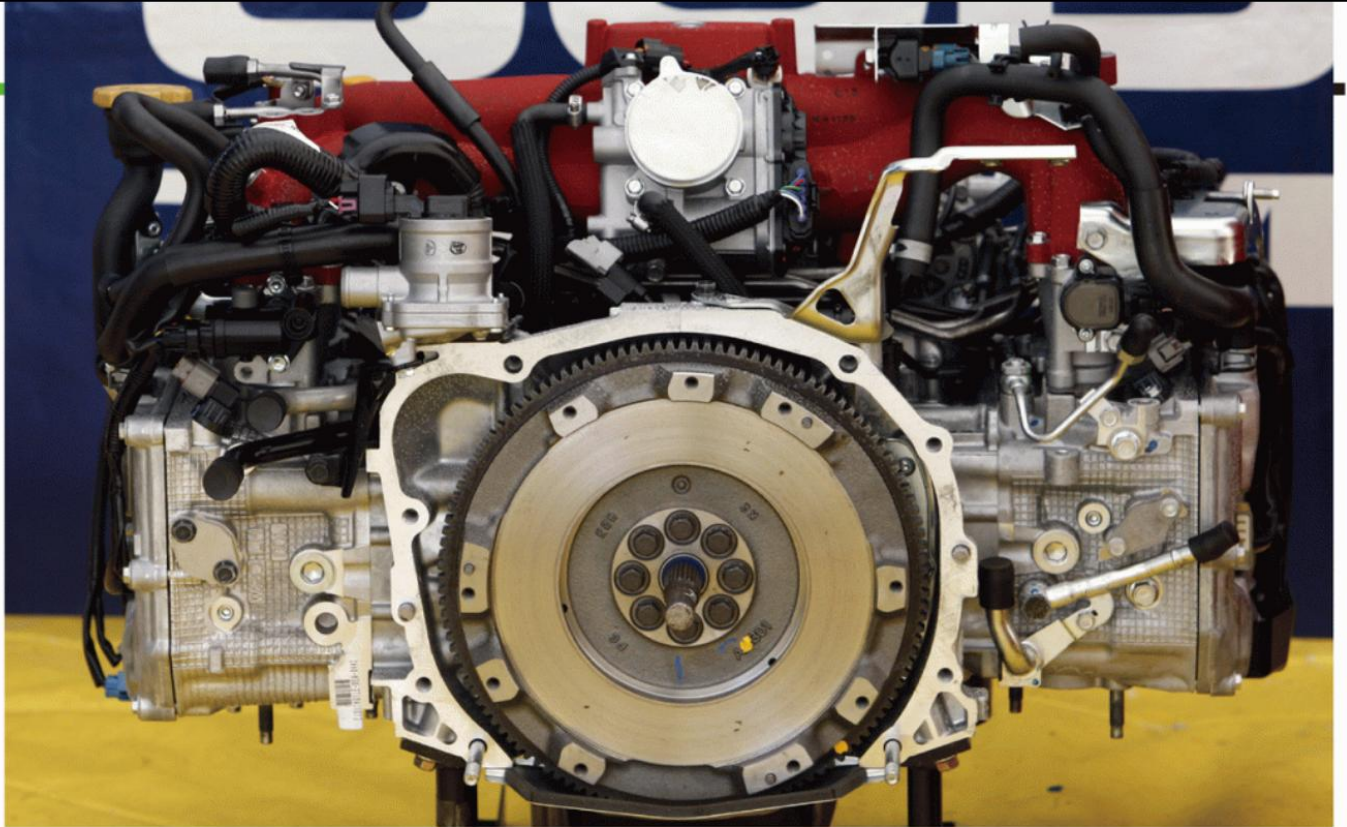
튜닝 엔진의 늘어난 파워를 손실 없이 트랜스미션에 전달하고, 변속을 확실히 하는 데 있어 클러치의 강화는 필수. 조금이라도 슬립이 있으면 가속성능은 떨어진다. 출력/토크 향상에 맞추어 디스크의 마찰력, 커버의 압착력을 높이는 것이 정석이다.

Disc&Cover

디스크 & 커버

클러치의 강화에 있어 가장 고전적인 수법이 디스크와 커버를 강화 타입으로 교환하는 것으로, 클러치 디스크의 마찰력과 클러치 커버의 압착력을 높임으로써 엔진 파워를 확실히 트랜스미션으로 전달할 수 있게 된다. 엔진 파워업 시에는 필수이며, 스포츠 주행의 과격한 클러치 조작에도 리스폰스 문제가 생기지 않는다는 것도 메리트. 디스크는 마찰계수가 높고 내마모성이 우수한 메탈타입이 주류를 이룬다.

Multi plate

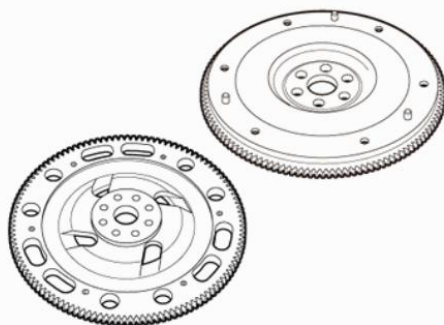
멀티 플레이트

일반적인 클러치가 싱글 디스크인데 비해 여러 장의 디스크를 배열해 마찰면적을 넓힌 것. 보다 압착력을 높여 엔진 파워의 전달효율을 높인 강화 클러치로, 디스크가 2장인 트윈 플레이트에서 4장인 포스 플레이트까지 있다. 디스크의 개수에 비례해 마찰력이 늘어나기 때문에 보다 고출력의 엔진에 대응할 수 있다. 리스폰스나 내구성도 향상되는 반면, 답력이 무거워지고 섬세한 클러치 미트가 요구되는 등 조작면에서 단점이 발생한다.

플라이휠 & 프로펠러 샤프트

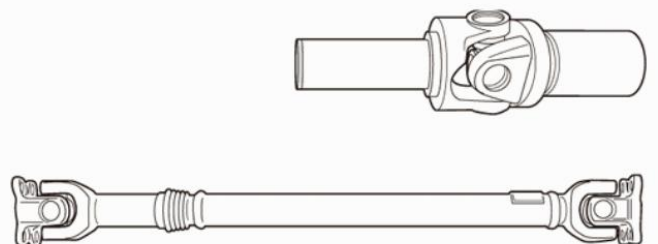
구동계의 경량화는 엔진의 회전 상승이나 리스폰스, 또 가속 성능을 향상시키는 수단으로서 큰 효과를 발휘한다. 다만 지나치게 가벼운 플라이휠은 등판능력 등에서 충분한 엔진 토크를 발생시키기 어려우므로 이를 보충하기 위한 튜닝이 필요하다.

Lightweight flywheel

경량 플라이휠

크랭크샤프트의 뒤쪽 끝(클러치 직전)에 붙어있는 원반을 플라이휠이라고 부른다. 주로 엔진의 회전을 매끄럽게 하는 역할을 하며, 무거울수록 회전은 매끄러워진다. 하지만 이 무게가 속도를 추구하는데 있어서는 마이너스 요소로 작용하므로 경량화가 요구된다. 부드러운 회전을 기대할 수 없고 엔진 토크도 줄어들지만, 샤프한 회전 상승이나 리스폰스 향상 등의 메리트를 기대할 수 있다.

Lightweight propeller shaft

경량 프로펠러 샤프트

트랜스미션과 디퍼렌셜 기어 사이를 연결해 엔진 파워를 전달하는 프로펠러 샤프트도 경량화하면 엔진 리스폰스나 가속 성능 향상과 같은 메리트를 가진다. 샤프트 소재로는 주로 카본이나 FRP(강화 플라스틱)가 사용되며, 무게는 노멀에 비해 절반 정도로 가볍다. 경량화는 말할 것도 없고, 회전 밸런스 또한 매우 중요한 요소이다.

동력을 확실하게 노면에 전달한다.

리미티드 슬립 디퍼렌셜

빠른 코너링을 목표로 한다면, 엔진의 파워를 확실하게 노면에 전달하는 리미티드 슬립 디퍼렌셜(LSD)은 필수다. 다양한 LSD 중에서 가장 큰 차동제한력을 발휘하는 것이 다판 클러치의 압착력을 이용하는 "기계식"이라 불리는 타입. 이 타입의 가장 큰 메리트는 효과의 크기나 효과가 시작되기까지의 리스폰스를 자유롭게 설정할 수 있다는 높은 자유도로, 구동계 레이아웃 등의 차량 특성이나 드라이빙 스타일 혹은 코스 레이아웃에 따라 최적의 트랙션을 얻어낼 수가 있다. 다만 큰 차동제한력을 발휘하는 만큼 내부 부품에 가해지는 부하도 높기 때문에 오일 교환이나 오버홀 등 정기적인 관리가 반드시 필요하다.

가장 큰 차동제한력을 발휘하는 "기계식 LSD"는 모터스포츠용 파트로 개발된 전용 제품을 나중에 장착하는 경우가 많다.

Lock ratio
로킹비

LSD의 효과를 보여주는 수치가 로킹비. 0%가 노멀 디퍼렌셜이고 100%는 직결 디프록 상태. 수치가 높을수록 차동제한 효과가 크다. 단, 그저 높이기만 한다고 좋은 것이 아니라, 구동방식이나 차고, 트레드 등과도 크게 연관되어 있다. 목표로 하는 성격에 따라 이상적인 수치가 달라지며, 이상적인 수치 이상으로 로킹비를 올리면 강한 초기 언더스티어를 보이는 등 코너링 성능이 현저히 떨어진다. 일반적으로 50% 전후의 로킹비가 다루기 편하며 충분한 LSD 효과를 얻을 수 있지만, 시행착오를 통해 최적의 수치를 찾아낼 필요가 있다.

Initial torque
이니셜 토크

이니셜 토크라는 것은 디퍼렌셜 케이스 내부의 디스크를 누르는 압력(여압)을 말한다. 이를 높이거나 낮춤으로써 LSD가 잠기기까지의 시간을 바꿀 수 있다. 이니셜을 높이면 액셀 조작에 대한 반응이 빨라져 순간적으로 LSD가 잠긴다. 낮추면 천천히 잠기므로 다루기가 편해진다. 튜닝에서는 토크를 높이는 것이 기본이지만, 회두성이 나빠질 뿐 아니라 FF차에서는 토크 스티어가 강해지는 등 단점도 무시할 수 없다. 최근에는 낮은 토크에서도 높은 LSD 효과를 발휘하는 제품이 늘어나고 있다.

기계식 LSD의 종류

1WAY

액셀을 밟았을 때만 작동하는 LSD. 액셀 OFF 상태에서는 작동하지 않기 때문에 노멀 디퍼렌셜이 가지는 내륜차 보정 기능을 활용해 코너에 부드럽게 어프로치한다. 특히 언더스티어 강한 FF차에 적합하며, 액셀 ON/OFF에 따른 움직임 차이가 현저하게 드러난다.

2WAY

액셀 ON, 액셀 OFF 양쪽 모두에서 효과가 있는 LSD. 강한 초기 언더스티어를 일으키지만 감속 시에 안정된 자세를 유지할 수 있기 때문에 마음먹은 대로 코너에 어프로치할 수 있다. 리스폰스가 우수하고 적극적으로 액셀을 밟아 코너를 돌 수 있다.

1.5WAY

1WAY와 2WAY, 양쪽의 특성을 모두 가진 LSD. 가속 방향에 대해서는 LSD 효과를 내지만 감속방향에 대해서는 효과가 억제되어 코너 어프로치 시에 잘 돌아갈 수 있도록 배려했다. 이렇다할 특이성이 없어 전반적으로 많이 사용되는 LSD라고 할 수 있다.

보디의 셰이프업

가볍고 고강성의 보디는 달리기의 기본.
아무리 엔진을 파워업 한들, 연약한 보디로는
그것을 실제 속도로 연결시키기 어렵다.

고강성/경량화

운동성능을 극한까지 높이기 위해 반드시 거쳐야 하는 튜닝이 보디의 경량화 그리고 고강성화이다. 경량화는 가속 성능의 향상뿐 아니라 브레이킹이나 코너링 성능을 높이는데도 크게 기여한다. 한편 고강성화는 큰 부하가 걸릴 시에도 서스펜션이 정확히 작동해 타이어의 접지성을 확보하는데 반드시 필요하다. 또 한계영역에서 드라이버가 순간적으로 차의 움직임을 파악해 정확하게 컨트롤하기 위해서도 잘 변형되지 않는 단단한 보디는 필수불가결한 요소이다. 예를 들어 노면의 마찰계수가 낮은데다 횡이나 종방향에서 강렬한 G가 걸리는 뉘르부르크링에서는 보디 강성을 제대로 확보한 차가 아니라면 단 한 바퀴도 만족스럽게 달릴 수 없다.

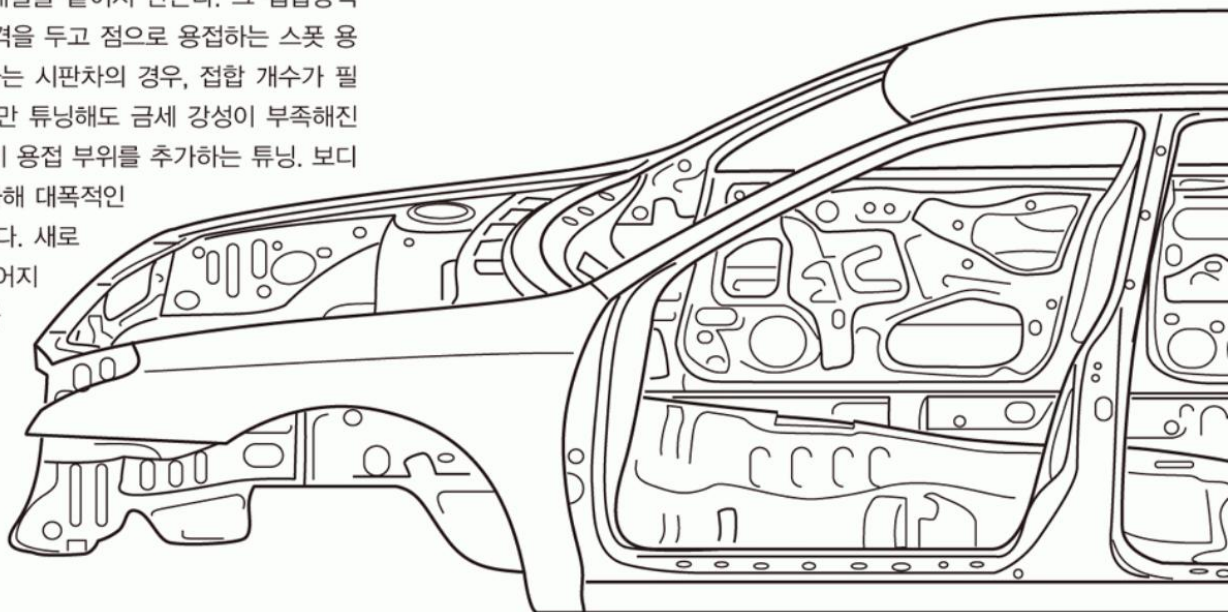
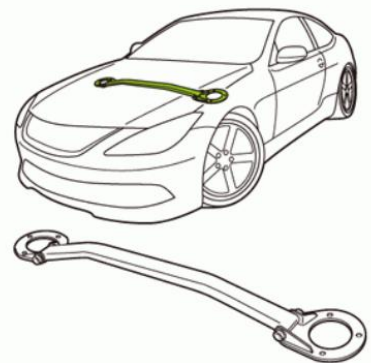
Spot welding

스폿 용접

보디는 프레스된 금속 패널을 붙여서 만든다. 그 접합방식 중 대표적인 것이 일정 간격을 두고 점으로 용접하는 스폿 용접이다. 생산효율을 중시하는 시판차의 경우, 접합 개수가 필요최소한에 불과하여 조금만 튜닝해도 금세 강성이 부족해진다. 그래서 이루어지는 것이 용접 부위를 추가하는 튜닝. 보디 패널 사이의 접합부를 강화해 대폭적인 강성 향상을 기대할 수 있다. 새로운 부품의 추가 없이 이루어지므로 무거워질 걱정이 없다는 메리트도 있다.

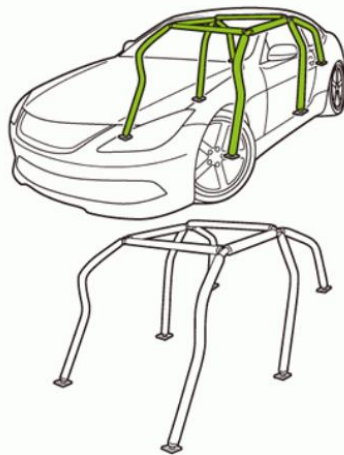
Tower bar

타워 바

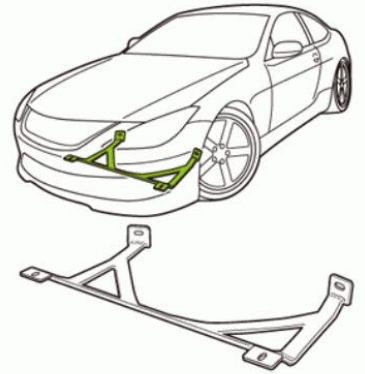
서스펜션이 차체에 달리는 부분(타이어 하우스 위쪽)의 좌우를 연결하는 봉이 스트럿 타워바. 이것을 달면 보디 앞부분의 강성이 높아지고 서스펜션이 정확하게 움직이게 되어 스티어링 조작에 대한 반응도 샤프해진다. 기본적으로는 댐퍼나 스프링, 부시 등의 서스펜션 튜닝과 함께 장착해야 한다. 앞쪽만 장착하는 케이스가 많지만 강성 밸런스를 고려하면 앞뒤 같이 장착하는 것이 바람직하다.

정확한 조종성을 얻는다.

Roll cage

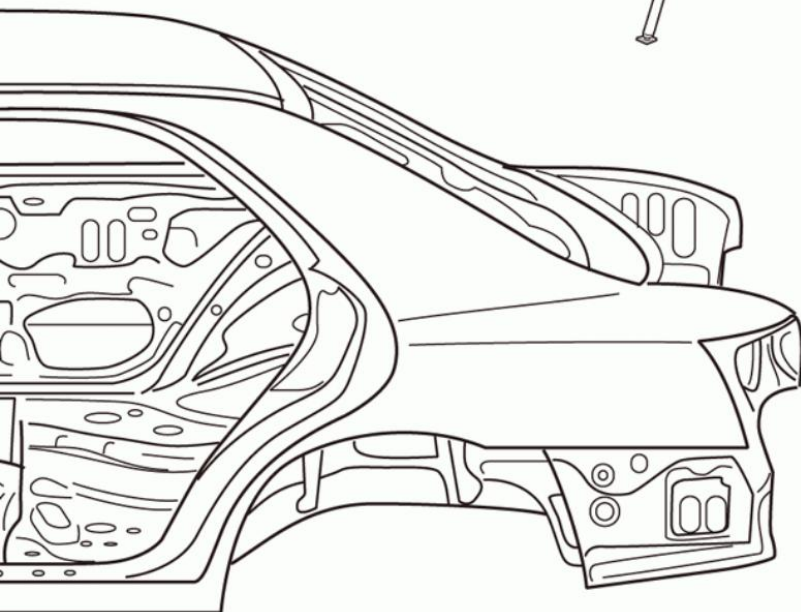
롤 케이지

본래는 사고로 변형된 보디로부터 승객을 보호하기 위한 장치인 롤케이지 역시, 보디 강성을 높이는데 유효하게 작용한다. 다만 케이지는 루프와 필러 부분 사이에 틈새가 없도록 확실히 보디에 용접되어 있어야만 한다. 또한 가능한 한 지지점을 늘려서 정글짐처럼 둘러싸야 강성면에서 보다 높은 효과를 기대할 수 있다.

Member brace

멤버 브레이스

휨 강성이나 뒤틀림에 강한 금속제 봉, 멤버 브레이스는 플로어 부분의 강성을 강화함과 동시에 서스펜션 멤버와 언더 보디를 연결함으로써 불필요한 움직임을 제한해 서스펜션 성능을 최대한으로 끌어내기 위한 파트다. 즉 스트럿 타워 바가 보닛 안에서 서스펜션과 보디를 지지하듯이 보디 아래에서 지지하는 구조인 것이다. 타워 바와 함께 사용하면 거동 안정성이 한층 더 늘어난다.

Lightweighting

경량화

가속/감속/선회, 모든 주행성능을 높이는데 가장 효과적인 튜닝이 차체를 가볍게 만드는 것이다. 에어컨 등의 쾌적장비나 차음재를 생략하는 기본적인 것에서, 보디 패널 등의 소재를 가벼운 알루미늄이나 카본으로 교환하거나 궁극적으로는 보디 셸 자체를 카본으로, 프레임도 알루미늄제로 바꾸는 등 레벨에 따라 다양한 방법이 이용된다. 다만 밸런스있게 주행성능을 높이기 위해서는 경량화와 고강성화를 동시에 진행해야 한다. 또 중심 높이(저중심화)도 고려해, 주로 차체 윗부분을 경량화시키는 것이 효과적이라 할 수 있다.

스토핑 파워의 증강

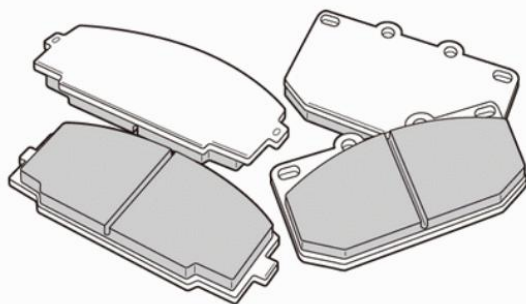
**파워업과 동시에 고려해야 하는 브레이크 튜닝.
안심하고 액셀을 밟을 수 있는 것은 바로 스토핑 파워가 있기 때문이다.
제동력의 강화뿐 아니라 열에 대한 대책에도 만전을 기해야 한다.**

제동력/내페이드성 강화

엔진 튜닝에 의해 스피드가 높아진 차에는 보다 강력한 제동력과 내페이드 성능이 요구된다. 기본적인 것으로는 우선 패드 교환이 있으며, 궁극적인 레벨로는 브레이크 시스템 자체를 대용량의 경주차용으로 교환하는 등 레벨에 따라 다양한 메뉴를 생각할 수 있다. 단, 경주용차가 반드시 모든 용도에 있어 완벽한 성능을 발휘한다고는 할 수 없으므로 목적에 따라 파트를 선택해야 한다. 또 디스크나 캘리퍼의 사이즈를 키우면 스프링 하중량이 늘어나 운동성을 저해한다. 브레이크 성능은 엔진 파워를 상회해야 한다는 것이 철칙으로, 예를 들어 경량 차체에 극단적으로 대용량 시스템을 장착하면 두말할 것 없이 오버 퀄리티로, 오히려 주행 밸런스를 무너뜨릴 수도 있다.

©GTA

Pad 패드

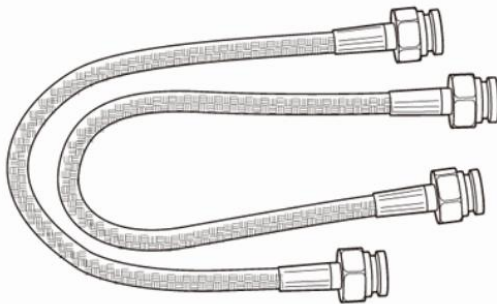
브레이크 튜닝에 있어서 가장 기본적인 파트로 제동력이나 내페이드성을 크게 좌우한다. 스트리트용에서 경주용까지 선택의 폭은 넓지만 각각 적정온도(최대 제동력을 발휘하는 온도)나 내열온도 등이 달라 목적에 맞는 것을 선택하지 않으면 기대한 효과를 얻을 수 없어, 달리기에 악영향을 주게 된다. 당연히 노멀과 비교해 마모가 빨라 디스크를 빨리 닳게 만들며, 제동 밸런스를 유지하기 위해 앞뒤 세트로 교환하는 것이 기본이다.

Fluid 플루이드

유압식 브레이크에서 사용하는 작동액. 레이스용은 베이퍼록 현상을 방지하기 위해 200℃ 이상에서도 끓어오르지 않는 특성을 가지며, 그 반면에 흡습성이 높고 열화되기 쉬운 특성을 가지고 있다. DOT=도트라 불리는 그레이드가 높을수록 비등점이 높아지며, 동시에 습기를 빨아들여 열화되기 쉬워진다(비등점이 내려간다). 따라서 레이스 전용의 DOT5를 사용할 때는 자주 교환해주어야 한다. 참고로 DOT 수치를 올려도 제동력 자체가 올라가지는 않으니 주의하자.

브레이크의 그레이드업을 도모한다.

Hoos

호스

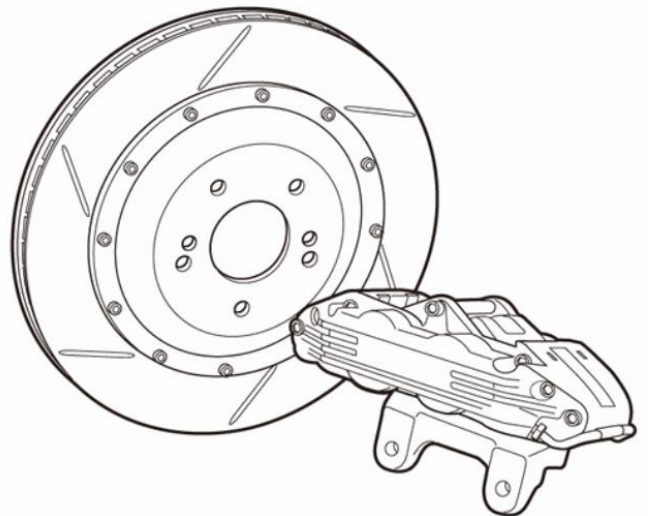
브레이크액의 통로가 되는 호스는 기본적으로 고무제이기 때문에 하드 브레이킹에서 유압이 고압으로 걸리면 팽창되어, 페달 터치를 애매하게 만든다. 이를 해소하는 것이 스테인리스 메시라 불리는 브레이크 호스. 테프론 호스를 메시 형태의 스테인리스로 감싸 고무와 비슷한 유연성을 가지면서도 팽창을 방지한다. 경주용차에서는 상식적으로 채용되고 있는 강화 파트로, 항상 다이렉트하고도 정확한 페달 터치를 얻을 수 있다.

Disc

디스크

제동력을 높이는 수법으로 가장 효과적인 것이 브레이크 용량의 향상이다. 즉 디스크를 대구경화시켜 보다 큰 마찰열을 발생시키는 것이다. 하지만 주철제 대구경 디스크는 스프링 하 중량을 늘려 주행성능을 저하시킨다. 그 때문에 최근에는 세라믹 카본 등을 주요 소재로 하는 경량 디스크가 등장하고 있다. 또한 디스크는 사용과 함께 마모되는 소모품으로, 본래의 제동력을 얻기 위해서는 정기적인 교환 또는 연마가 필요하다.

Caliper

캘리퍼

캘리퍼 본체의 튜닝으로는 시스템 자체를 그레이드업하는 수법이 있다. 브레이크 패드를 확실하게 디스크에 압착한다는 의미에서 패드를 양쪽에서 누르는 대향 피스톤 타입으로 교환하는 것이 일반적이다. 또 시판차에도 6피스톤 타입이 많아지고 있다는 데에서도 알 수 있듯이, 피스톤 개수가 많으면 많을수록 패드를 누르는 압력을 균일하게 할 수 있어 결과적으로 제동력이 향상된다. 게다가 대향피스톤 타입의 경우 캘리퍼 본체가 일체형으로 되어 있어 차체 부분에 고정된 채 움직이지 않기 때문에 캘리퍼 자체의 강성이 높고, 과격한 사용에서도 안정된 브레이킹을 얻을 수 있다는 장점도 있다.

풋워크의 강화

하드한 주행에서 움직임을 안정화시켜 확실한 조작성을 얻도록 하는 풋워크 강화는 튜닝의 중요 요소. 차량 특성을 완전히 바꿀 만큼 큰 효과를 가져온다.

핸들링 특성 변화

스포츠 드라이빙에 있어 서스펜션 튜닝이라는 것은 승차감이라는 요소를 어느정도 희생함으로써 빠르기를 추구하는 것이다. 서킷 같은 평평한 노면에 한정한다면, 차고가 낮을수록 무게중심이 낮아져 움직임이 안정된다. 서스펜션도 단단할수록 가속 및 감속, 선회 시에 불필요한 움직임이 없어져 조종성이 샤프해진다. 그러나 실제로는 서스펜션이 완전히 기능하지 않으면 하중이동이 발생하지 않아 조종성이 극히 나빠진다. 그러므로 하중 이동을 활용할 수 있는 범위에서 전후좌우의 밸런스를 고려하면서 단단하게 만드는 것이 정답이라고 할 수 있겠다. 또 차량 특성이나 노면 상황 등에 따라서는 타이어 그립을 높이기 위해 부드럽게 만들기도 하는 것이 서스펜션 튜닝임을 기억해 두자.

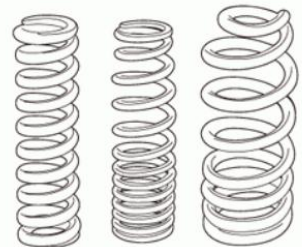
Damper

댐퍼

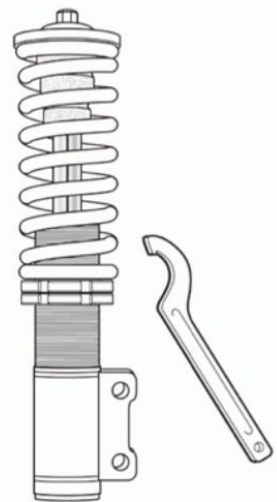
승차감을 중시한 일반차보다 높은 감쇠력을 제공함으로써, 큰 부하가 걸리는 하이스피드 주행에서도 안정된 거동을 확보하고 조종성을 높이는 것이 목적. 교환과 튜닝은 스프링과 동시에 하는 것이 정석이다.

Spring

스프링

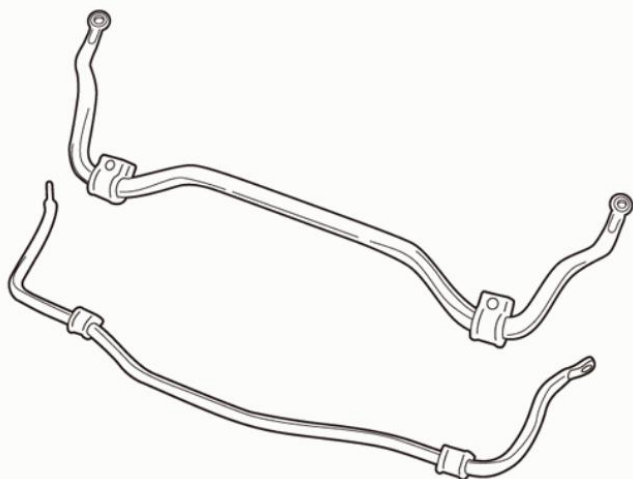
기본적인 운동성능을 높이는 저중심화 외에 코너링 시의 롤, 브레이킹 시의 노즈 다이브 또는 발진 및 가속 시의 스쿼트(숙여짐)를 억제해 거동을 안정시키는데 빼놓을 수 없는 파트.

Height adjust suspension

차고조절식 서스펜션

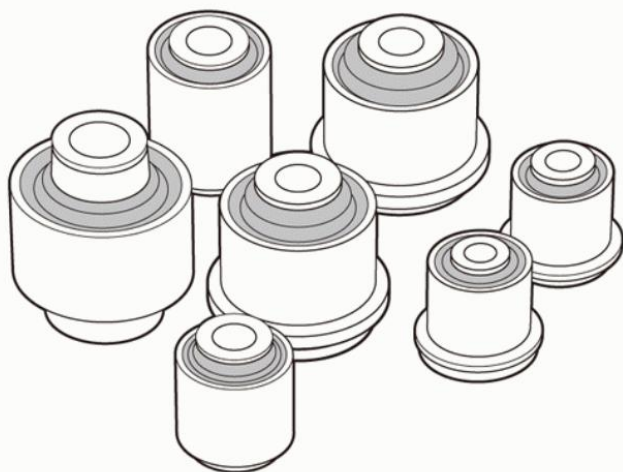
스프링 길이를 임의로 신축시키는 차고조절기능을 갖춘 댐퍼. 동시에 감쇠력 조절도 가능한 타입이 주류다. 조합의 폭이 넓으며 주행 상황에 맞추어 세심한 대응이 가능하다. 차고조절방식에는 나사식, C링식, 브라켓식이 있다.

뜻대로의 조종성을 손에 넣는다.

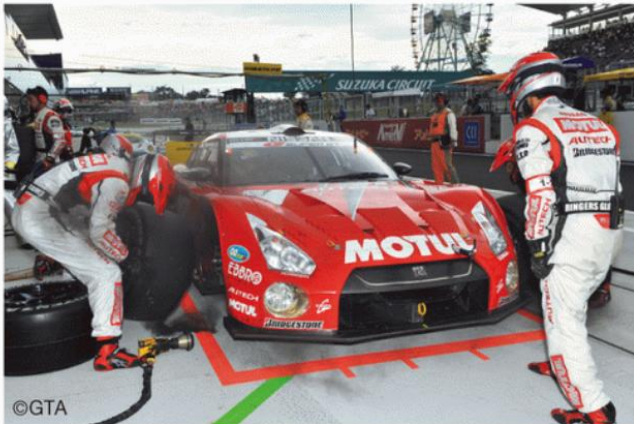
Stabilizer

스태빌라이저

탄성비를 높임으로써 스태빌라이저 본래의, 코너링 중의 롤 억제 효과를 향상시키는 것이 가능하다. 또한 앞쪽 탄성비를 높이면 언더스티어, 뒤쪽을 높이면 오버스티어 성향을 보인다.

Bush

부시

댐퍼나 서스펜션 링크 등의 보디 연결부분이나 각 링크 연결부위에 끼워넣는 완충재(부시)를 강화하면 서스펜션의 불필요한 움직임을 억제해 리니어한 조타감각이나 조종성을 얻을 수 있다. 부시의 재질은 주로 고무나 우레탄 등의 수지이며, 가동부분에 금속구를 이용한 통칭 "필로 볼"도 있다.

타이어의 하이퍼포먼스화

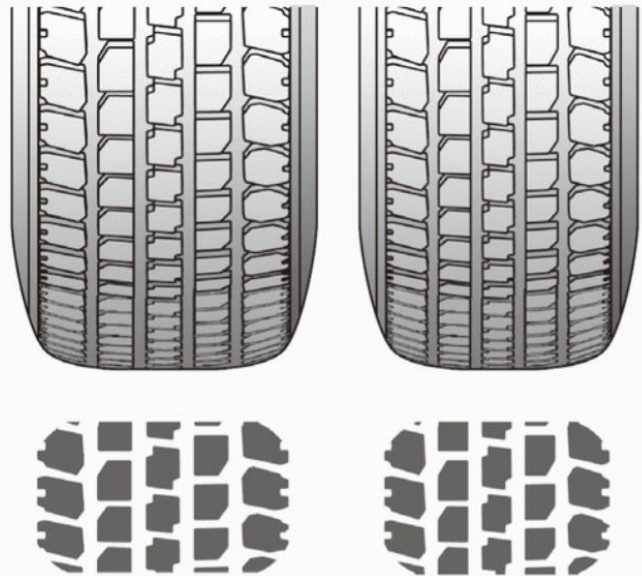
하이퍼포먼스 타이어는 그립이 높은 반면, 한계를 넘어섰을 때의 컨트롤이 어려운 "양날의 검". 차량 특성이나 파워와의 밸런스를 고려한 선택도 필수다.

©GTA

Width up

광폭화

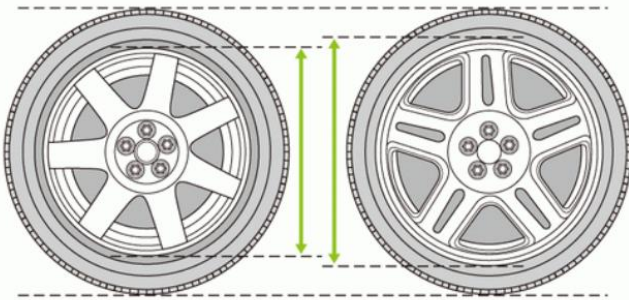
타이어 폭을 넓혀 접지면적을 확대하면 필연적으로 그립성능이 향상된다. 하지만 타이어의 그립력은 노면과의 마찰력뿐 아니라 타이어에 가해지는 하중에 따라서도 크게 변화한다. 예를 들어 가벼운 차에 극단적으로 폭이 넓은 타이어를 장착한 경우, 충분한 하중이 걸리지 않아 높은 그립을 얻을 수 없는 경우도 드물지 않다. 한편 파워가 약한 차에 오버사이즈 타이어를 단 경우에는 타이어의 그립력에 파워가 밀려 오히려 늦어지는 경우도 많다. 차중과 출력의 밸런스를 고려한 사이즈의 선택이 중요한 것이다.

그립/강성 향상

하이퍼포먼스 타이어에 요구되는 중요한 요소로 그립과 강성이 있다. 이를 극한까지 추구한 것이 레이스 전용의 슬릭 타이어로, 접지면 컴파운드라 불리는 고무는 마찰열에 의해 녹아 노면에 밀착되며 접지면의 강성을 확보하기 위한 홈이 하나도 없다. 이 발상은 일반도로에서도 마찬가지로, 고성능 타이어라면 예외 없이 소프트 컴파운드를 사용하며 홈이 얕고 큰 트레드 패턴을 가진다. 하지만 젖은 노면에서 배수성을 확보하기 위해 홈은 필수불가결한 요소로 깊고 많을수록 유리하다. 드라이 성능과 웨트 성능, 상반된 성능을 얼마나 고차원으로 균형을 이루게 할 것인가가 큰 과제이다.

노면을 확실히 잡아낸다.

Inch up

인치업

인치업이라는 것은 타이어의 편평비(타이어 폭에 대한 높이가 몇 %인가를 나타내는 수치)를 낮추는 것으로, 외경을 변화시키지 않고 휠의 사이즈를 키우기 위한 수법이다. 반드시 트레드가 넓어짐을 의미하지는 않는다. 주요 장점으로는, 사이드월의 폭(높이)이 좁아짐으로써 코너링이나 브레이킹 시의 타이어의 변형이 감소한다는 것. 즉 강성이 높아지면서 조타 반응성이나 조종성이 향상되는 것이다. 다만 극단적인 인치업은 휠의 대구경화에 따른 스프링 하중량 증가를 수반하므로, 운동성능을 떨어뜨리는 원인이 되기도 한다. 경주용차에서 인치업을 하는 본래의 목적은 사실, 휠 구경을 확대해 보다 큰 브레이크 시스템을 넣기 위함이다.

Compound

컴파운드

타이어의 접지부분에 이용되는 고무를 컴파운드라 부르며, 이는 절대적인 그립성능을 결정짓는 요소다. 그립성능이 중시되는 고성능 타이어는 노면에 밀착하기 쉬운 소프트 컴파운드를 사용하며 특히 레이스용 타이어에서는 노면과의 마찰열에 의해 표면이 녹아, 그 접착력을 이용해 노면에 집요하게 달라붙는다. 다만 소프트 컴파운드는 높은 그립력을 발생시키는 반면 마모가 빠르고, 하드 컴파운드는 그 반대 특성을 가진다. 그러므로 이러한 기본특성을 이해하고 사용할 필요가 있다. 또 고무는 경년변화에 따라 경화되어, 그립 성능이 신품 상태에서 점점 떨어지게 된다. 소프트한 컴파운드일수록 그러한 경향이 강하다.

Groove

그루브

그루브는 접지면에 새겨진 홈을 가리키며, 젖은 노면에서 노면의 물을 배수해 접지면과 노면의 그립력을 유지하는 역할을 한다. 한편 마른 노면에서의 그루브는 코너링이나 브레이킹 혹은 가속 시에 타이어에 큰 하중이 가해질 경우 접지면에 주름을 만드는 등의 단점밖에 존재하지 않는다. 그것을 단적으로 보여주는 것이 서킷 전용의 슬릭 타이어로, 여기에는 홈이 하나도 없다. 주행회나 선데이 레이스에서 사용되는 세미슬릭 타이어도 접지면의 강성을 확보할 목적으로 최소한의 얕은 그루브만을 새겨넣고 있다.

AERO PARTS

CHAPTER 03 Tuning & Settings

공력성능의 향상

고속영역에서 주행성능을 높이기 위해 에어로 튠은 필수불가결. 그러나 잘못된 튜닝은 단점만을 만들어낼 뿐이다. 본래의 효과를 얻기 위해서는 극히 세심한 조율이 요구된다.

주행풍을 흘려보내, 이용한다.

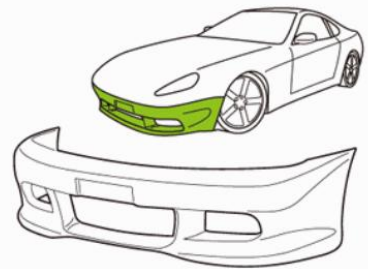
에어로 튜닝

일반적으로 드레스업을 목적으로 장착하는 경우가 많은 에어로 파츠도 본격적인 튜닝 머신에서는 매우 중요한 기능을 담당한다. 고속영역에서 차의 속도를 떨어뜨리는 공기저항과 보디를 떠오르게 하는 양력을 줄여 주행 성능을 높이는 것이 주요 목적. 특히 에어로 파츠에서 발생되는 차체를 내리누르는 힘(다운포스)은 거동안정성을 높임과 동시에 타이어 그립성능을 끌어올리는데 불가결한 요소로, 조종성 향상에 크게 공헌한다. 단, 에어로 튜닝은 서스펜션을 포함해 전체적으로 밸런스를 잡는 것이 중요하며 부적절한 튜닝은 오히려 주행성능을 악화시키기도 한다.

Front spoiler

프론트 스포일러

보디 아랫부분을 흐르는 공기를 제어해 양력을 저감시키는 것이 목적. 다만 극히 보기 드문 케이스이기는 해도 제대로 만들어지지 않은 파트를 장착하고 최저지상고를 내려 중심을 낮춘 차에서는, 가압된 기류가 좁은 보디 아래쪽에 유입되어 본래 의도했던 것과는 반대로 앞부분에 양력을 발생시켜 최악의 경우 컨트롤을 잃을 수도 있다.

©GTA

Rear spoiler

리어 스포일러

리어 범퍼 형상을 최적화시켜 차 뒷부분의 와류 발생을 최대한 억제함으로써 부드러운 공기 흐름을 만들기 위한 에어로 파츠. 리어 범퍼와 일체화 된 것과 리어 범퍼 아래 장착하는 것이 있으며, 일반적으로 전자를 「리어 범퍼 스포일러」, 후자를 「리어 언더 스포일러」 혹은 「리어 스커트」라고 부른다.

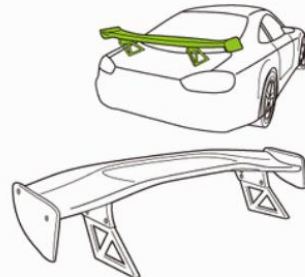
Rear wing spoiler

리어윙 스포일러

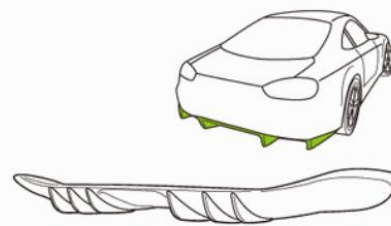
보디 후방 위쪽에 달아, 기류를 부드럽게 만드는 정류효과와 함께 차체 후방에서 발생하는 와류를 억제하는 효과를 가진다. 양력을 살리기 위해 비행기 날개를 거꾸로 만든 듯한 스포일러 형상은 사이즈가 클수록 강한 다운포스를 발생시켜, 리어 타이어의 그립력을 높이는 효과를 기대할 수 있다.

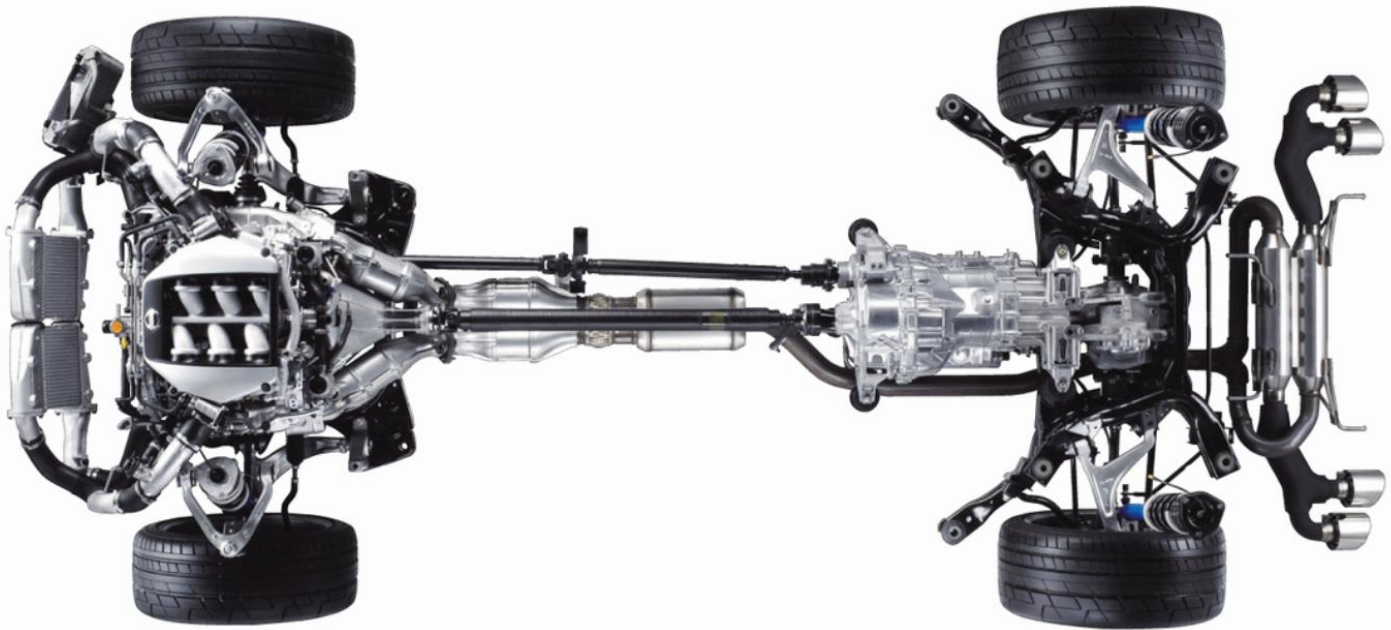
Side spoiler

사이드 스포일러

사이드 스커트, 사이드 스텝 등으로 불리며 보디 양쪽 아래 부분(사이드 실 부근)에 장착하면 차체 옆에서 생겨나는 공기 저항을 감소시키는 효과가 있다.

Rear diffuser

리어 디퓨저

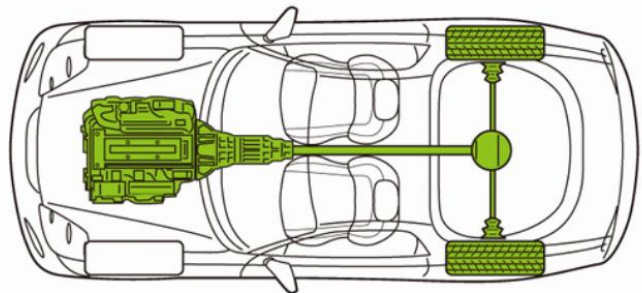
보디 아래(언더 플로어)를 흐르는 바람을 리어 범퍼 아랫부분에서 효율적으로 뽑아냄으로써 부압을 발생시켜 다운포스를 얻어내는 정류판. 레이싱 머신에서는 상식적으로 사용되는 파트로, 언더 플로어와 노면과의 간격이 좁을수록 그 효과가 커진다.

차량특성에 따른 세팅

차의 가짓수만큼이나 다양한 세팅 방식. 특히 구동방식이 다르면 움직임이나 핸들링도 크게 달라진다. 우선은 각각의 특성을 이해한 후에 세팅을 해야 할 것이다.

구동 레이아웃

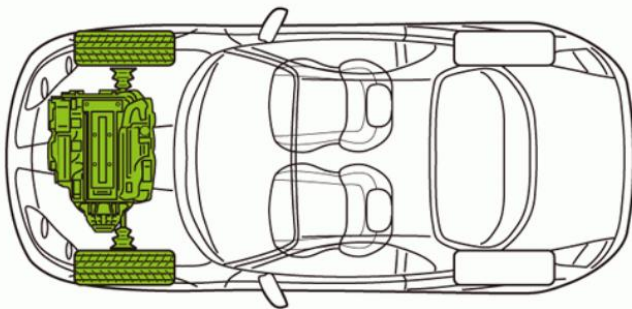
자동차 중에서 가장 무거운 엔진의 탑재위치와 엔진 파워를 노면에 전달하는 구동륜의 위치로 결정되는 것이 구동 레이아웃이다. 차는 구동 레이아웃에 따라 각기 다른 장점과 단점을 가지며 스포츠 드라이빙에 있어서도 주행성능이나 조종성과 직결되는 중요한 요소이다. 구동 레이아웃 자체를 변화시키기는 어렵지만 가능한 그 레이아웃의 장점을 살리고 단점을 억제하여 빠른 달리기로 연결시키자. 서스펜션에서 드라이브 트레인, 에어로 다이내미즘에 이르기까지 모든 요소를 종합적으로 파악해 이를 고차원적으로 균형잡는다면 노멀과 구별되는 달리기 성능을 얻어낼 수 있을 것이다.

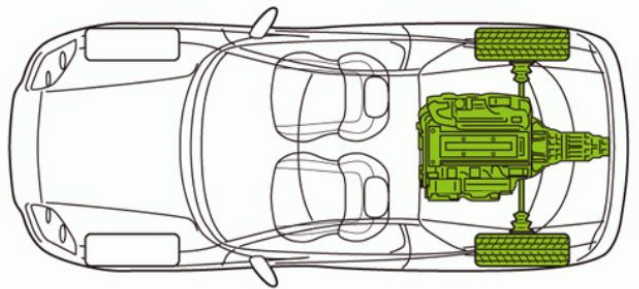
FR

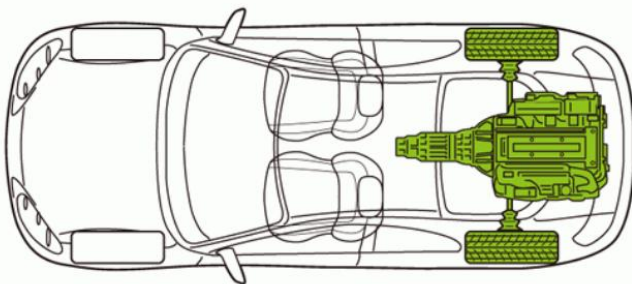
최적의 앞뒤 하중배분을 얻으면 우수한 선회성능과 안정성을 양립시킬 수 있다. 스피드를 생각한다면 파워 ON 시에 테일 슬라이드가 잘 일어나지 않도록 리어 트랙션을 높이는 세팅을 목표로 하자. 한편 프론트는 파워 ON 시 하중이 줄어들기 때문에 원하는 라인을 트레이스 할 수 없게 되는 푸싱 언더가 일어나므로 이에 대비해야 한다.

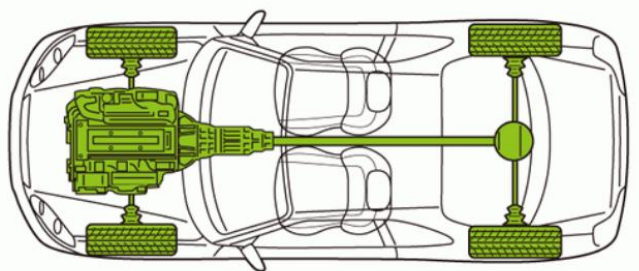
Characteristic

약점을 보완하고, 이점을 강화한다.

FF

FF 자동차는 구동과 조타를 모두 프론트 타이어로 하여 여기에만 집중하기 쉽지만, 리어 타이어에도 충분히 신경을 써야 한다. 기본은 고속 코스라면 리어가 달라붙도록 안정성을 중시하고, 급한 턴이 이어지는 곳이라면 리어가 쉽게 흐르도록 해 샤프하게 선회하는 차로 만드는 것이다. LSD는 액셀 ON에서만 작동하는 1WAY가 기본이다.

MR

엔진을 차체 중심에 얹었기 때문에 가감속에 유리. 회두성도 샤프하지만 한계영역에서는 앞쪽 하중이 적기 때문에 언더스티어 경향이 된다. 뒤가 흐를 때의 스피드도 빠르다. 코너링 초기의 회두성 확보를 최우선으로 하고, 다음으로 코너 탈출 가속 시의 트랙션을 확보해야 한다. 아울러 앞뒤 다운포스도 균형있게 조정하는 것이 좋다.

RR

무거운 엔진을 뒤에 탑재하기 때문에 2륜 구동에서는 가속 성능이 가장 우수하지만 코너링에서는 앞쪽 하중이 MR 이상으로 작기 때문에 강한 언더스티어를 보이기 쉽다. 더욱이 한계를 넘어설 때에는 무거운 뒷부분 때문에 순간적으로 오버스티어로 전환된다. 코너링 초기에 선회성능을 확실하게 확보하는 세팅이 요구된다.

4WD

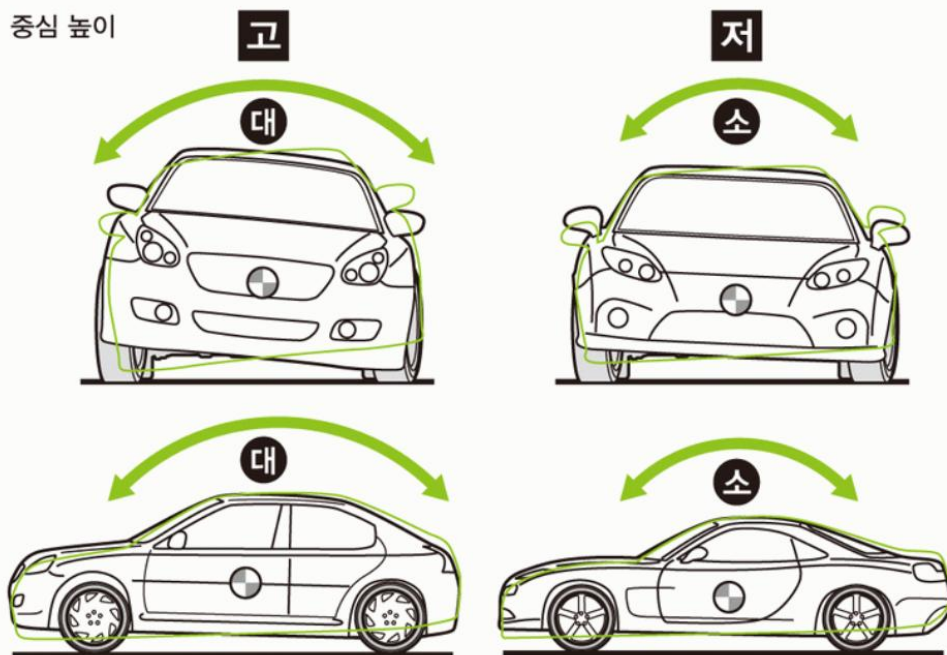
베이스가 되는 차의 구동방식에 따라 움직임이 달라지며, 안정성이 높은 대신 선회가 어렵다는 기본특성을 가진다. 코너 탈출 가속 시의 안정성은 우수하므로 코너링 초기의 회두성을 중시해 세팅하자. 그 경우 앞뒤 구동력 배분도 중요한 요소가 된다. 장착하는 LSD는 프론트: 1WAY, 리어: 2WAY가 기본이다.

부위별 기본 세팅

단순히 고성능 파트로 교환하는 것만으로는 차가 빨라지지 않는다. 다른 파트와의 밸런스를 고려하면서 세팅을 진행해야 각각의 성능을 최대한 끌어내, 차 자체의 포텐셜 향상으로 이어진다.

자동차의 성격을 자유자재로 변화시킨다

노면의 요철에 의한 영향을 배제한다면, 차고를 낮출수록 중심이 내려가 코너링에서 롤링이나 가속/감속시의 피칭이 억제되어 운동성능이 높아진다. 또 앞뒤 차고를 다르게 해 거동 변화를 최적화시키는 것도 가능하다. 예를 들어 뒤보다 앞을 낮추는 세팅에서는 코너링의 진입 제어에 의해 프론트 타이어가 강하게 노면에 밀착되어 부드러운 턴인이 가능해진다. FF 차에서는 가속 시의 노즈업이 억제되고 트랙션을 걸기 쉽다는 메리트도 생긴다.

스프링 레이트도 운동성능에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 스프링을 딱딱하게 할수록 좋다고 생각되나, 반드시 그렇지는 않다. 딱딱하게 만들면 차고를 낮추는 것과 마찬가지로, 롤링, 피칭, 요잉처럼 달리기를 해치는 움직임이 억제된다. 하지만 너무 딱딱하면 노면의 반발력 증가로 타이어 접지성이 떨어져 트랙션을 잘 얻을 수 없게 된다. 그러므로 딱딱함과 부드러움의 적당한 밸런스를 잡는 것이 무엇보다 우선시 되어야 한다.

스프링 레이트는 핸들링 특성에도 큰 영향을 미친다. 기본적으로 프론트가 높으면 언더스티어 성향, 리어가 높으면 오버스티어 성향으로 만드는 것이 가능하다. 다만 여기에는 댐퍼의 감쇠력도 작용하기 때문에 양자를 복합적으로 생각해 세팅할 필요가 있다.

서스펜션의 앞뒤 밸런스를 잡는다.

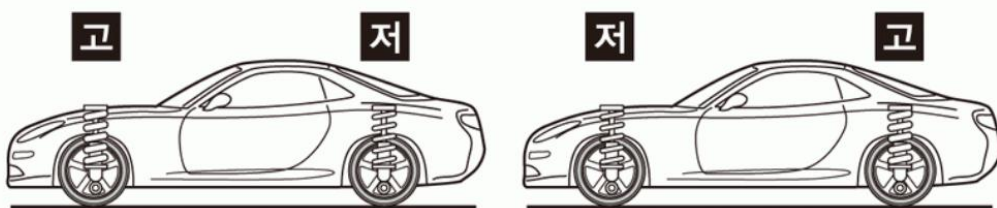
서스펜션 [댐퍼 감쇠력]

압축측과 신장측을 임기응변으로 설정

하중이 걸린 스프링의 신축 속도를 제어하는 것이 댐퍼이고, 그 억제하는 힘을 감쇠력이라 부른다. 감쇠력은 댐퍼 내에 봉입된 오일이나 가스 속을 피스톤이 위아래로 움직일 때 생기는 저항에 의해 만들어지며, 감쇠력이 높으면 스프링의 신축 운동이 바로 흡수되고, 감쇠력이 낮으면 잘 흡수되지 않는다.

기본적으로 감쇠력은 압축 쪽과 신장 쪽에서 설정이 각기 다른데, 세팅에 따라 차체의 거동이나 조종성을 변화시키는 것이 가능하다. 압축 쪽을 높이면 제동 시의 노즈 다이브나 선회 시의 롤과 같은 자세 변화의 빠르기가 억제되지만 서스펜션은 버티는 상태가 되어 요철에서 튀어오르기가 쉽고, 하중 이동을 이용하기 어려워지는 등의 폐해를 낳는다. 한편 신장 측의 감쇠력을 키우면 큰 거동 변화를 진정시키는 데 유용하다. 예를 들어 신장 측의 감쇠력을 높이면 코너 탈출 가속을 위해 액셀을 밟았을 때 프론트 서스펜션이 잘 늘어나지 않아 프론트 타이어 접지성을 유지할 수 있다.

또, 핸들링 특성도 앞뒤 신장/수축의 감쇠력 조정으로 변화시키는 것이 가능하다. 프론트의 압축 쪽을 약하게 하면 턴인 시에 전방으로의 하중이동량이 늘어나 언더스티어를 줄일 수 있다. 신장 측은 오버스티어를 강하게 하려면 뒤쪽 감쇠력을 약하게, 언더스티어로 만들려면 강하게 하는 것이 기본. 우선 압축 쪽 세팅을 한 후에 신장 쪽을 설정하는 것이 정석이다.

전후 감쇠력(압축)

서스펜션
[휠 얼라인먼트·캠버각]

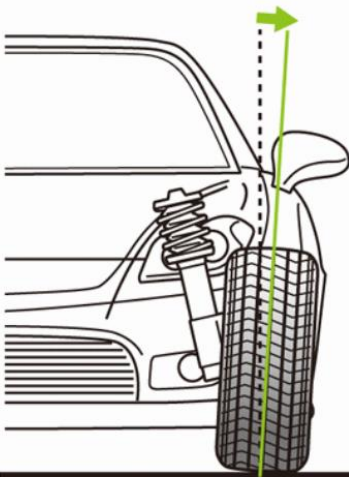
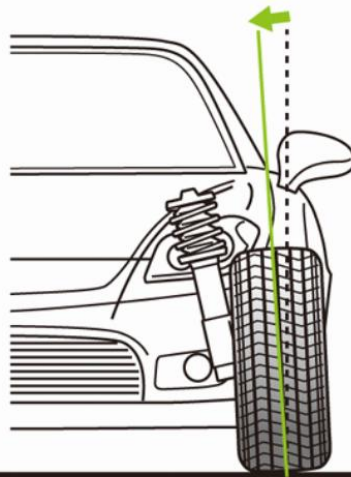
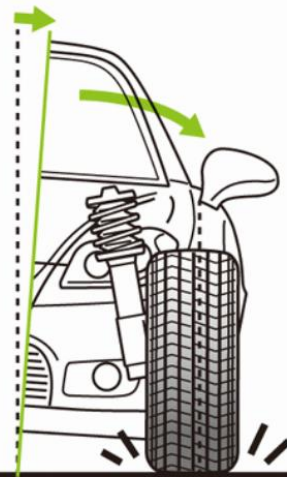
선회성능에 유효한 네거티브 캠버

휠 얼라인먼트의 대표적인 세팅이 캠버각을 조정하는 것이다. 차를 정면에서 보았을 때 八자 형태로 타이어 아래쪽이 벌어진 것이 네거티브 캠버, 반대로 아래가 좁은 것을 포지티브 캠버라고 한다.

코너링 시, 자동차는 원심력으로 인해 코너 바깥쪽으로 기울어진다. 이 때를 대비해 타이어를 네거티브 캠버로 만들어 놓으면 코너에서 타이어를 노면에 수직으로 세워 확실히 트랙션을 걸 수 있게 된다.「캠버를 붙인다」는 말은 네거티브 캠버의 효과를 노리는 것이라 생각하면 된다.

다만 코너링 성능을 노린 네거티브 캠버는 당연히 직선에서 디메리트가 생긴다. 타이어가 노면에 대해 수직이 아니기 때문에 노면의 굴곡으로 인해 스티어링이 돌아가거나 트랙션을 잃기도 쉽다. 또 타이어가 저항이 되기 때문에 가속성능이 떨어지고, 접지 면적이 감소하면서 제동거리가 늘어나는 경우도 있다. 네거티브 캠버를 강하게 하면 직진 시에 이러한 디메리트가 상당히 강해지므로 극단적으로 세팅을 하기에 앞서, 이런 장단점들을 확실히 숙지해야 할 것이다.

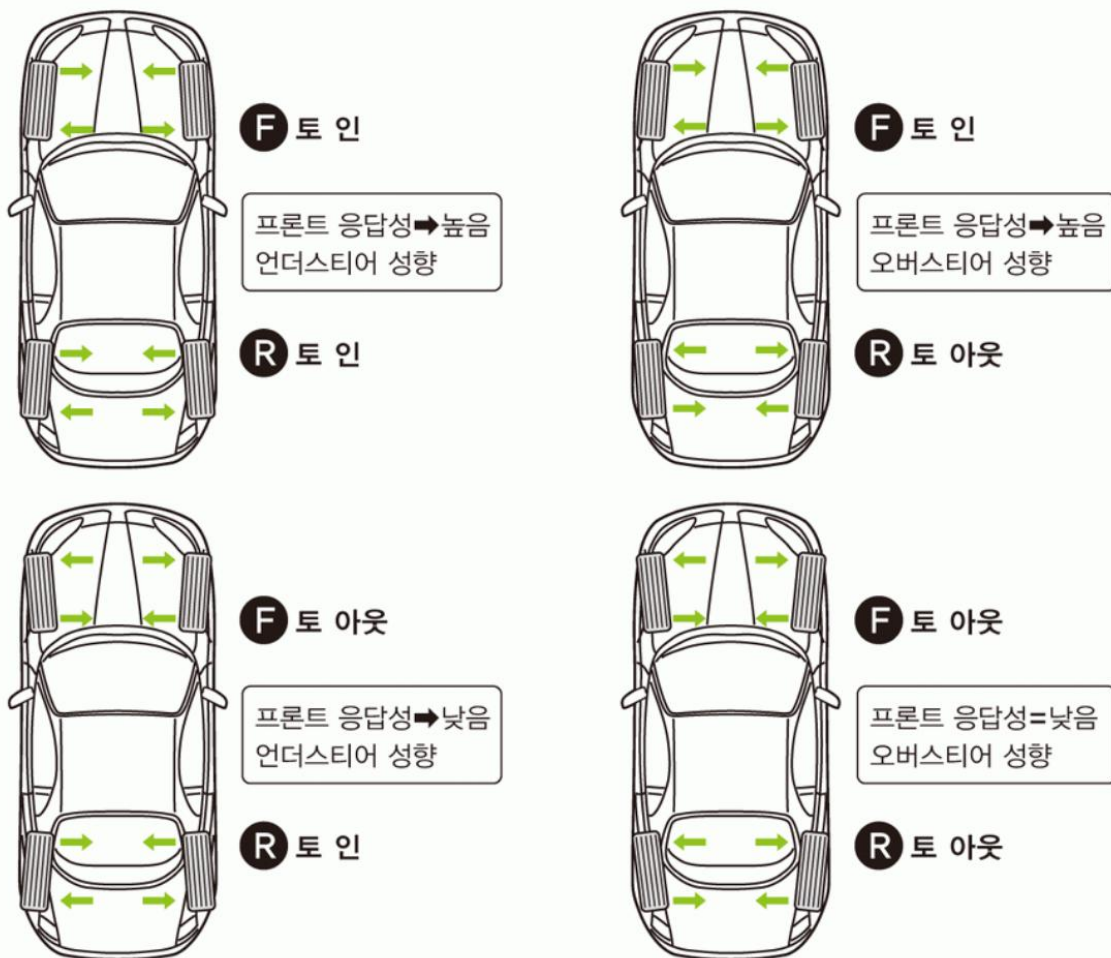
실제로 네거티브 캠버로 세팅할 때에는 코너링 중의 앞뒤 타이어 중량 밸런스를 고려해야 한다. 앞쪽 하중이 크다면 앞바퀴의 네거티브 각도를 키우고 뒷바퀴 각도는 줄인다. 이렇게 하면 머신의 언더스티어 성향이 개선될 것이다.

한편 포지티브 캠버는 타이어 그립력이 낮아지기 때문에 현실적인 세팅이라 할 수 없고, 자동차의 움직임이 민감해지므로 피해야 할 것이다.

타이어 그립을
효과적으로 끌어낸다.

안정성을 좌우하는 섬세한 앵글

토각이란 차체를 위에서 보았을 때 타이어의 토=앞부분 벌어진 각도를 말한다. 토는 특히 좌우 하중 밸런스가 무너졌을 때의 특성에 큰 영향을 미친다. 예를 들어 코너링 시에는 바깥쪽 타이어에 하중이 몰리기 때문에 바깥쪽 타이어가 거동에 큰 영향을 준다. 토각의 조정은, 이 때의 타이어의 방향을 결정하는 것으로서 자동차의 안정성을 결정짓는 역할을 담당하는 것이라 할 수 있다.

진행방향에 대해 타이어가 안쪽을 향한 상태를 "토 인", 바깥쪽을 향한 상태를 "토 아웃"이라고 부른다. 핸들링 특성에서 보면 기본적으로 앞쪽을 토 인, 뒤를 토 아웃으로 하면 오버스티어 성향, 반대로 하면 언더스티어 경향으로 바뀐다. 또 코너링 시의 앞부분의 움직임을 안정시키기 위해 토 아웃으로 설정하는 케이스도 있다.

원래 토는 휠베이스나 트레드, 캠버각, 나아가 엔진 파워나 구동 레이아웃과도 밀접하게 관련되어 있다. 다른 부분에서는 보정할 수 없는 차 특유의 버릇을 보정하거나 조종성의 미묘한 개성으로서 최후에 조정하는 경우가 많다. 또 각도를 붙이는 만큼 주행 저항이 되므로, 각도를 크게 변경하는 일은 거의 없다. 특히 리어 각도의 변경은 주행 상태나 조종성에 큰 영향을 끼치므로, 앞쪽을 메인으로 작은 범위 안에서 조정하는 것이 정석이다.

서스펜션
[스태빌라이저 레이트]

조정은 최후의 맛내기 정도

철재 봉이 비틀릴 때 발생하는 반발력을 이용한 스프링을 토션바 스프링이라고 하며 스태빌라이저는 좌우 서스펜션의 로어암을 이 토션바 스프링으로 연결한 것이다. 코너링 시, 한쪽 서스펜션이 움직일 때 반대쪽 서스펜션이 저항이 되어, 움직인 서스펜션을 원래대로 되돌리려는 힘으로 차체의 기울어짐(롤)을 억제해 타이어 접지성을 높여준다. 코일 스프링과 마찬가지로 스프링의 단단함은 레이트로 표시되며, 앞쪽을 강하게 하면 스티어링 리스폰스도 높아진다.

세팅 시 주의해야 할 점은 서스펜션 스프링보다 높은 레이트로 하면 안된다는 것이다. 스태빌라이저 쪽이 너무 강하면 하중을 받는 바깥쪽 타이어가 움직일 때 스프링이 스태빌라이저를 이기지 못하고 같은 방향으로 움직이게 되어 안쪽 타이어가 떠버리는 인 리프트 현상을 일으키므로, 충분한 트랙션을 얻을 수 없게 된다.

또 전후 레이트의 조합에 따라 핸들링 특성 또한 어느 정도 조정은 가능하지만, 서스펜션 세팅은 어디까지나 댐퍼의 감쇠력과 스프링 레이트의 조합으로 하는 것이 기본으로, 여기에 스태빌라이저까지 추가하면 세팅이 너무 복잡해져 포인트를 잡기가 어려워진다. 스태빌라이저에 의한 조정은 최후의 맛내기 정도로 생각하는 것이 무난하다.

드라이브 트레인
[LSD]

효과에 따라 조종성도 변화

이니셜 토크라는 것은 LSD가 작용하기 시작하는 타이밍을 결정하는 토크 수치를 의미하며, 수치를 높이면 액셀 조작에 대해 반응성이 빨라져 LSD가 록되기 쉬워진다. 반대로 낮으면 부드러운 특성을 보여준다.

LSD의 이니셜 토크를 올리면 일반적으로 자동차의 구동 방식에 따른 핸들링 특성이 강조된다. 후륜구동차에서는 토크를 올리면 오버스티어, 전륜구동차에서 토크를 올리면 언더스티어 경향이 강해지는데, 양자의 경우 모두에서 강력한 트랙션을 얻을 수 있는 반면 턴인이 어려워진다는 디메리트도 두드러지게 된다. 세팅할 때는 원하는 핸들링을 확실히 정하도록 하자.

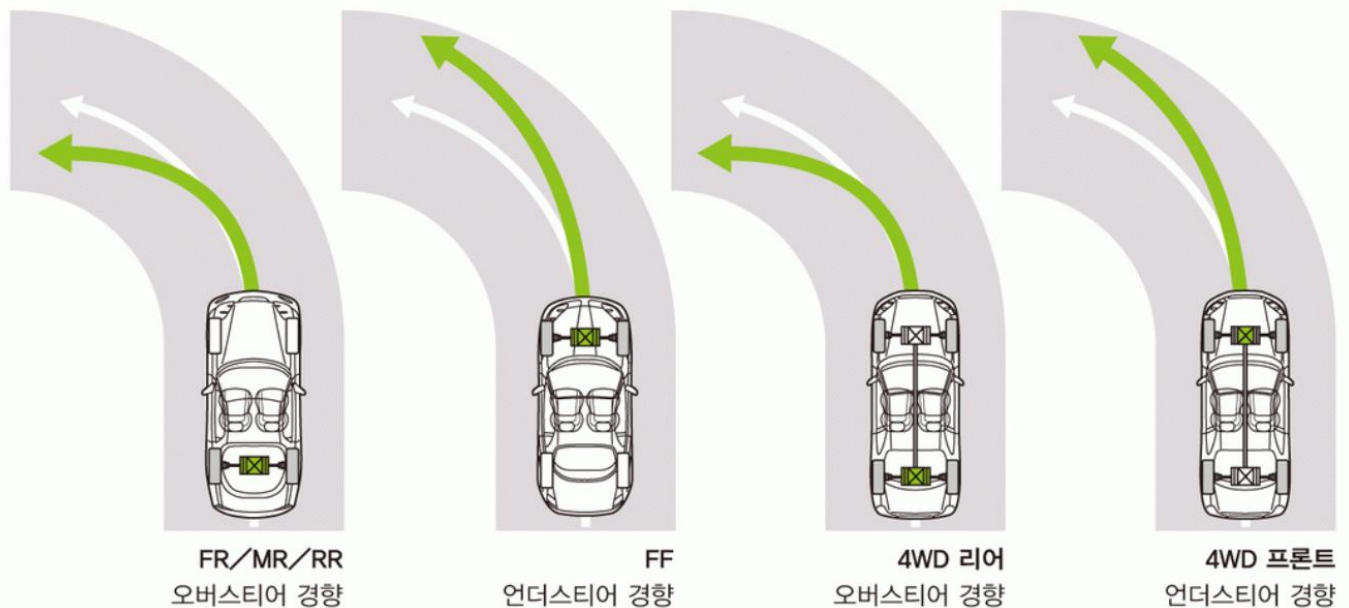
또 하나 세팅에서 주의할 점이 가속 측과 감속 측의 조정이다. 가속 측은 액셀을 밟은 상태에서의 LSD 효과를 조정하는 것으로, 강하게 하면 구동력이 증가해 빠르게 코너를 통과할 수 있게 된다. 단, 동시에 핸들링 특성도 크게 바뀌기 때문에 한박자 빨리 코너의 탈출 방향으로 방향을 바꾸는 운전기술도 요구된다.

한편 감속측 세팅은 액셀 OFF시의 LSD 효과를 조정하는 것으로, 강하게 설정하면 코너로의 진입 제동 시에 거동 안정성이 높아지기 때문에 거의 마지막 순간까지 브레이크를 늦추어 진입할 수 있다. 다만 회두성이 약간 손상되기(선회가 잘 안된다) 때문에 상급자를 위한 세팅이 되며, 초기 언더스티어를 줄이기 위한 세팅이 불가결해진다.

FR/MR/RR
오버스티어 경향

FF
언더스티어 경향

4WD 리어
오버스티어 경향

4WD 프론트
언더스티어 경향

코너링 중의 조종성을 조정한다.

드라이브 트레인
[기어비]

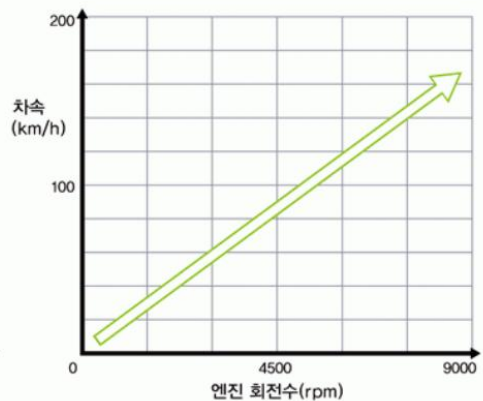
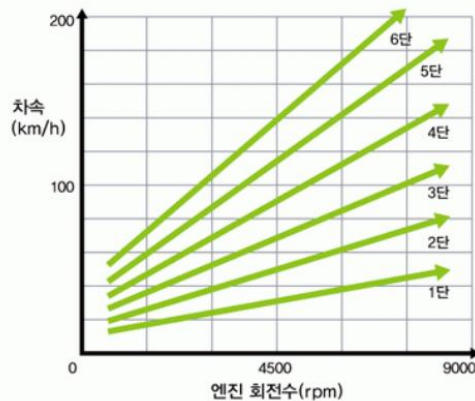
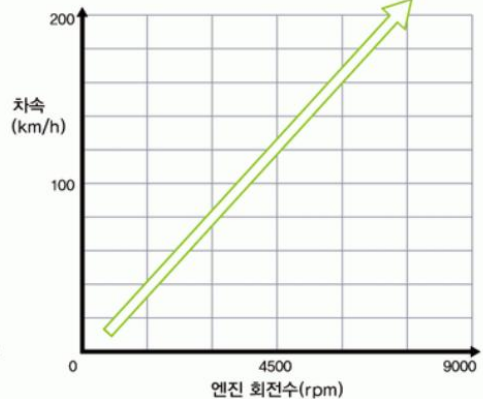
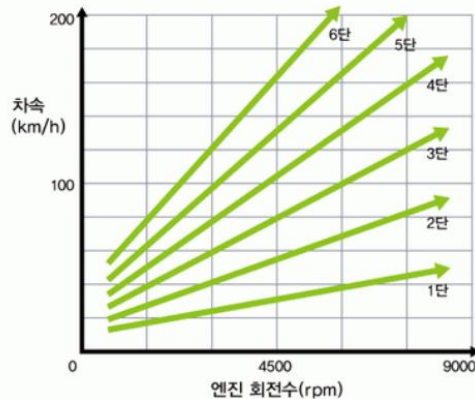
파워밴드 유지에 유리한 크로스 레이쇼

코너가 연속되는 와인딩에서 긴 직선로를 가진 서킷까지, 자동차가 달리는 스테이지는 다양하다. 각 스테이지에서 최고의 성능을 내기 위해서는 드라이브 트레인 기어비를 변경하면 엔진 특성을 각 스테이지에 최적의 상태로 맞추는 것이 가능하다. 기어비 변경에는 트랜스미션 자체의 기어비와 파이널 기어 기어비가 있다.

예를 들어 저중속 코너가 연속된 코스에서는 톱 스피드보다 코너에서의 가속력을 중시하는 것이 좋다. 그럴 때에는 트랜스미션의 각 기어의 비율을 근접시켜 파워밴드를 유지하기 쉽게 만드는데 이러한 기어비를 크로스 레이쇼라고 부른다.

반대로 긴 직선로가 승패를 가르는 서킷에서는 5단, 6단 같은 높은 기어의 비율을 낮게(=기어비를 떨어뜨려) 최고속도를 얻도록 세팅하면 좋다. 이런 기어비는 와이드 레이쇼라고 한다.

한편 파이널 기어의 기어비는 트랜스미션 전체의 성격을 좌우한다. 같은 트랜스미션이라고 해도 파이널 기어를 낮추면 가속중시 성격이 되고(도달 최고속도는 떨어진다) 높이면 최고속도를 높이는 성격이 된다(가속성능은 떨어진다). 처음에는 각각의 기어비는 그대로 놔두고, 파이널 기어만 변경해보자. 스트레이트 막바지에 최종 기어가 확실히 레드존에 도달하는가를 기준으로 삼으면 된다.

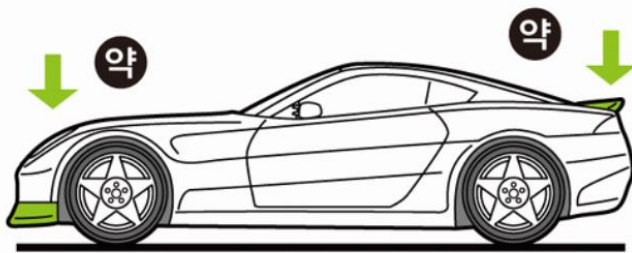
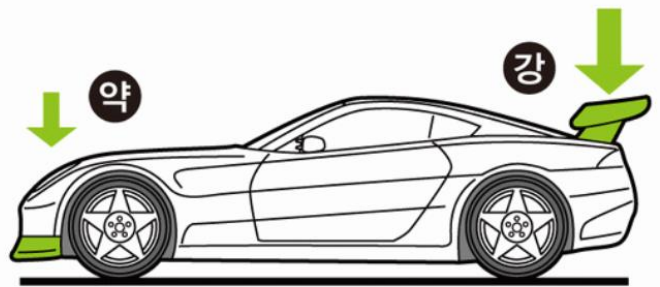
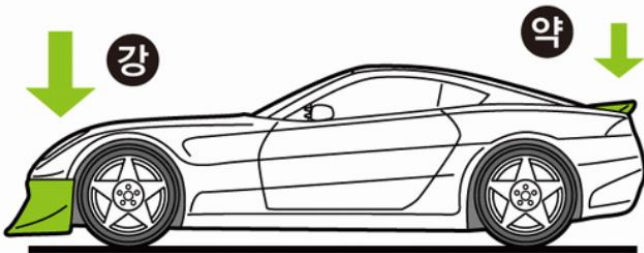
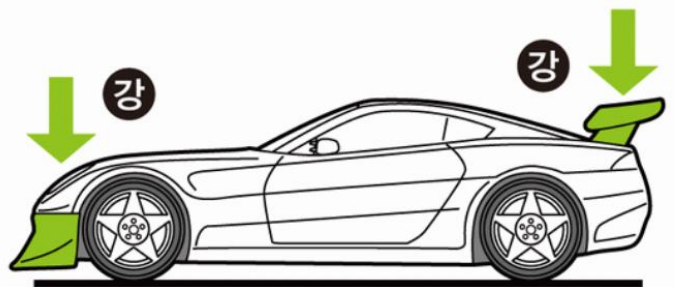
코너가 연속하는 테크니컬 코너에서는 각 기어를 근접시켜 가속성능을 중시한다.

긴 스트레이트가 있는 하이 스피드 서킷에서는 기어비를 높여 최고속도를 중시한 세팅으로.

에어로 다이내믹스
[다운포스]

고속주행성능을 결정하는 요소

고속주행에서는 공기의 존재를 무시할 수 없는데, 이 영향을 미치는 공기의 종류는 크게 나누어 2가지가 있다. 하나는 최고속도의 벽이 되는 공기의 저항, 또 하나는 차를 떠오르게 만드는 양력이다. 이 두 힘은 「공기저항을 줄이면 양력이 늘어나고 양력을 줄이면 공기저항이 늘어난다」는 상관관계에 있으므로 세팅을 통해 최적의 밸런스를 찾아야만 한다.

실제 세팅에 있어, 이는 다운포스 문제라고 바꿔 말할 수 있다. 다운포스라는 것은 공기저항의 힘을 차를 노면에 내리누르는 힘으로 이용하는 것이다. 다운포스를 강하게 하면 최고속도는 낮아지지만 코너링에서 차가 안정되고, 특히 고속 코너에서 선회속도를 높일 수 있다. 반대로 다운포스가 약하면 코너링 스피드는 떨어지는 대신 스트레이트에서 최고속도를 높일 수 있다.

다운포스의 양은 주행하는 스테이지를 보고 결정한다. 처음부터 다운포스를 강하게 세팅하면 좋은 결과를 얻을 수 없다. 필요최소한의 다운포스로 세팅을 한 후, 고속 코너 등 그 중요성에 따라 조금씩 강하게 조절해나가도록 하자. 소배기량차의 경우라면 다운포스를 제로로 만들어 톱스피드를 중시하는 편이 좋다.

한편 다운포스는 앞뒤 별도로 조정하여, 고속 코너에서의 핸들링 특성 변경에도 이용할 수 있다. 앞쪽을 강하게 하면 프론트 타이어의 그립이 높아져 오버스티어 경향이 되고 리어를 강하게 하면 반대의 효과로 언더스티어 경향이 된다. 이는 하이 스피드 서킷에서 큰 효과를 얻을 수 있는 튜닝이다.

톱 스피드➡높음
컨트롤성➡낮음

톱 스피드➡조금 낮음
언더스티어 경향

톱 스피드➡조금 높음
오버스티어 경향

톱 스피드➡낮음
컨트롤성➡높음

목적과 상황에 따른 세팅

코너나 노면 상황에 따른 조종성을 얻는 것도 세팅의 중요한 목적. 같은 차, 같은 튜닝에서도 서스펜션이나 구동계의 설정에 따라 놀랄만큼 큰 변화가 초래된다.

고속 서킷

톱 스피드를 높인다

고속 서킷에서 차에 요구되는 것은 고속 코너를 가능한 한 빠르게 달릴 수 있는 세팅이다. 서스펜션부터 보면 스프링 레이트, 댐퍼 감쇠력은 모두 딱딱하게 만들고 차고도 가능한 한 낮추어야 한다. 다만 서스펜션 스트로크가 부족할 정도로 너무 차고를 낮추거나, 노면의 갭이나 굴곡의 충격을 흡수하지 못할 정도로 서스펜션을 딱딱하게 하면 역효과가 난다. 스프링을 딱딱하게 한다면 스태빌라이저는 부드럽게 함으로써 적절한 롤을 만들어, 타이어 접지성을 확보하자. 한편 거친 노면에서는 스프링을 약간 부드럽게 하면서 스태빌라이저를 딱딱하게 세팅해 롤 스피드를 억제하자. 스프링이 하지 못하는 것을 스태빌라이저가 대신하게 하는 작전인 셈이다.

얼라인먼트도 중요하다. 안정성을 벌기 위해서는 리어의 토 인을 증가시키는 편이 좋다. 캠버는 어느정도 네거티브로. 다만 고속역의 직진이나 풀 브레이킹 시에 타이어가 노면에 가능한 한 넓은 면적으로 접지하도록 하여 안정시킬 필요가 있으므로 적당히 억제한다.

기어비는 어떤 코스일지라도 공통되는 사항으로, 엔진 회전수가 파워 밴드를 벗어나지 않도록 세팅하는 것이 매우 중요하다. 파이널 기어는 스트레이트 끝에서 제일 높은 기어의 끝까지 사용하도록 기어비를 조정하며, 다운포스는 기본적으로 스트레이트 스피드를 높이기 위해 낮추는 방향으로 세팅한다. 다만 코너링이나 브레이킹 시의 안정성도 확보해야 하므로 너무 줄이는 것은 금물이다.

서스펜션 세팅의 기준

		FRONT	REAR
차고		낮게	낮게
댐퍼 감쇠력	신장	강하게	강하게
	압축	강하게	강하게
스프링 레이트		딱딱하게	딱딱하게
휠 얼라인먼트	토각	0	인
	캠버각	네거티브	0
스태빌라이저 레이트		딱딱하게	딱딱하게

※차의 특성에 따라서는 이러한 세팅이 불가능한 경우도 있습니다.

뜻하는 대로의 조종성을 목표로.

테크니컬 코스

파워를 효율적으로 노면에 전달한다

타이트 코너가 많은 테크니컬 코스를 위한 세팅의 목표는, 빠르게 방향을 바꿀 수 있고 파워 손실 없이 단번에 코너를 탈출할 수 있는 차를 만드는 것이다. 우선 차고를 코스에 맞춰야 한다. 문제가 생기지 않을 범위 내에서 차고를 낮게 하자.

스프링 레이트는 차체 방향을 신속히 바꿀 수 있도록 앞쪽을 부드럽게, 뒤를 딱딱하게(후륜구동차는 적당히) 만든다. 댐퍼도 스프링과 같은 방향으로 세팅한다. 얼라인먼트는 초기응답성을 중시하면서 앞쪽은 토 인으로 움직인다. 클리핑 포인트 부근의 필링을 살피면서 토 인을 줄여 적당한 세팅을 찾는 것이 좋다. 주의할 것은 캠버각이다. 브레이크 효과나 가속 시의 트랙션을 확보하기 위해서는 직진 시에 타이어의 접지 면적이 줄어드는 네거티브 캠버는 가능한 한 억제해야 할 것이다.

트랜스미션의 기어비는 최고속도 중시가 아닌, 항상 최고회전수를 유지할 수 있도록 크로스 레이쇼로 세팅한다. 파이널 기어비도 마찬가지로 날카로운 가속이 가능하도록 세팅해야 한다.

엔진 특성을 크게 바꾸는 경우 레드존 부근의 파워는 크게 신경쓰지 말고, 코너 탈출 시의 가속력을 얻을 수 있도록 중저속 토크를 중시한다. 다운포스는 앞뒤 모두 최대한 확보해야 하며, 공력에 있어서도 최고속도보다는 코너에서의 안정성을 중시한 세팅으로 한다.

서스펜션 세팅의 기준

		FRONT	REAR
차고		낮게	중간
댐퍼 감쇠력	신장	강하게	약하게
	압축	강하게	약하게
스프링 레이트		딱딱하게	부드럽게
휠 얼라인먼트	토각	0	인
	캠버각	0	0
스태빌라이저 레이트		−	−

※차의 특성에 따라서는 이러한 세팅이 불가능한 경우도 있습니다.

언더스티어 대책

어디서 잘 돌아가지 않는지를 파악한다

코너 진입/클리핑 포인트 부근/탈출 가속 중 어느 섹션에서 언더스티어가 나는지를 파악하는 것부터 시작한다.

진입 시에 언더스티어가 나는 경우에는 프론트 그립을 최대한 확보해야 한다. 부드러운 스프링을 사용하고 댐퍼는 전방으로의 하중이동을 늘리기 위해 신장 쪽은 단단하게, 압축 쪽은 부드럽게 해보자.

서스펜션 외의 요소로는 LSD 효과가 지나친 경우도 있을 수 있으므로, 로킹비나 이니셜 토크를 떨어뜨려 본다. 후륜구동차에서 가속, 감속에 관계없이 작동하는 2WAY를 사용하고 있다면 감속 시에 프리가 되는 1WAY로 변경해보자. 고속 코너에서라면 프론트 다운포스를 증가시켜 앞바퀴 그립을 올리는 방법도 효과적이다.

클리핑 포인트 부근에서 언더스티어가 난다면, 롤 할 때 타이어의 접지 면적이 줄어들지 않도록 네거티브 캠버를 늘려야 할 것이다. 리어 토 인을 감소시켜 그립력의 밸런스를 잡는 얼라인먼트도 유효하다. 가능하다면 프론트 트레드를 넓이는 것도 좋다.

탈출 시에 문제가 되는 후륜구동차의 푸싱 언더에 대해서는, 앞쪽 차고를 내리고 프론트 댐퍼의 신장측과 리어 댐퍼 수축을 단단하게 한다. FF 차에서 코너 탈출 가속 시에 언더스티어가 난다면 LSD를 강하게 한다.

서스펜션 세팅의 기준

		FRONT	REAR
차고		낮게	높게
댐퍼 감쇠력	신장	강하게	강하게
	압축	약하게	강하게
스프링 레이트		부드럽게	딱딱하게
휠 얼라인먼트	토각	인	0
	캠버각	네거티브	0
스태빌라이저 레이트		부드럽게	딱딱하게

※차의 특성에 따라서는 이러한 세팅이 불가능한 경우도 있습니다.

오버스티어 대책

후륜구동차 고유의 고뇌

FF나 4WD 차에서 오버스티어로 고민하는 경우는 거의 없다. 오버스티어는 후륜구동차에서 문제가 되는 경우가 대부분이다.

만약 드리프트 주행을 메인으로 컨트롤성을 중시한다면, 오히려 리어의 흐르는 양을 정확하게 컨트롤할 수 있도록 앞뒤 서스펜션 모두를 딱딱하게 만드는 것이 좋다. 그러나 서킷에서의 타임 어택이라면 차가 앞으로 나아가도록 하는 트랙션을 최대한 확보하는데 초점을 맞추어 생각해야 한다.

바람직하지 않은 오버스티어가 되는 이유는 그 대부분이 파워 온 상태에서 발생하는 리어 트랙션의 부족 때문으로, 가속하지 못하고 옆방향으로 구동력이 달아나는 것이다.

우선 스프링 레이트와 댐퍼 감쇠력을 조정한다. 리어 스프링 레이트를 부드럽게 설정하고, 댐퍼 압축쪽 감쇠력을 하드하게 해보자. 리어 스태빌라이저를 부드럽게 해 안쪽 바퀴의 하중을 늘리는 것도 좋다. 가능하다면 리어 트레드의 폭도 넓혀보자. 한편 프론트는 너무 부드러우면 큰 자세 변화를 일으켜 리어 하중이 달아나버리기 쉽다. 리어 그립력을 확보하기 위해서라도 딱딱하게 세팅하는 것이 좋다.

리어 스포일러가 달려있다면 각도를 강하게 해 리어 다운포스를 증가시켜 보자. 단, 이렇게 하면 최고속도가 희생된다는 점도 잊지 말아야 한다.

서스펜션 세팅의 기준

		FRONT	REAR
차고		중간	낮게
댐퍼 감쇠력	신장	강하게	강하게
	압축	강하게	약하게
스프링 레이트		딱딱하게	부드럽게
휠 얼라인먼트	토각	−	인
	캠버각	−	네거티브
스태빌라이저 레이트		−	부드럽게

※차의 특성에 따라서는 이러한 세팅이 불가능한 경우도 있습니다.

웨트 컨디션

타이어의 퍼포먼스를 끌어낸다

당연한 이야기겠지만 비가 내려 노면의 μ(마찰계수)가 낮아지면 토탈 그립은 대폭 감소된다. 우중 레이스 시의 기본적인 세팅에 대해 알아보자.

스프링 레이트, 댐퍼, 스태빌라이저는 드라이 컨디션보다 대폭 부드럽게 변경한다(리어 스태빌라이저를 떼어내기도 한다). 서스펜션이 딱딱하면 타이어가 접지하기 어렵고, 한계영역에서 갑자기 미끄러지게 된다. 원래 딱딱한 서스펜션은 토탈 그립이 높은 경우에 필요한 것으로, 그립이 낮은 웨트 컨디션에서는 불필요하다. 캠버는 드라이 노면보다 약간 일으켜 세워 가감속시의 타이어 접지면적을 늘린다. 공력조정이 가능한 차는 앞뒤 모두 다운포스를 늘려 그립을 최대한 높인다.

실전에서 하는 가장 간단한 웨트 세팅은 공기압을 조정하는 것이다. 비가 내리면 타이어 공기압을 드라이 시보다 높여서 타이어 접지면적을 줄이면, 단위면적당 하중이 늘어나 하이드로플래닝을 막아준다. 반대로 비가 적게 내리면 공기를 빼내기도 한다. 공기압의 조정은 앞뒤 그립력을 미조정하는 경우에도 사용되므로 세팅의 첫걸음이라고 할 수 있다.

엔진의 특성을 변경할 수 있드면 톱엔드 파워보다 저중속 회전영역에서의 토크를 중시한다. 또 웨트 레이스의 경우 전자장비에 의지하는 편이 컨트롤하기 쉽고 빠른 경우가 많다. 전자제어장비의 유무에 따른 거동 차이를 느껴보는 것도 하나의 즐거움이라 할 수 있겠다.

서스펜션 세팅의 기준

		FRONT	REAR
차고		낮게	낮게
댐퍼 감쇠력	신장	약하게	약하게
	압축	약하게	약하게
스프링 레이트		부드럽게	부드럽게
휠 얼라인먼트	토각	인	인
	캠버각	네거티브	네거티브
스태빌라이저 레이트		부드럽게	부드럽게

※차의 특성에 따라서는 이러한 세팅이 불가능한 경우도 있습니다.

그래블

거동 컨트롤 성능을 높인다

그래블 세팅에서 가장 중요한 것은 자유자재의 컨트롤성이다. 비포장 노면은 컨디션이 안정되지 않아 약간 주행라인을 바꾸는 것만으로도 노면의 마찰계수가 크게 변화한다. 앞서 가는 차가 자갈을 날리는 경우도 다반사여서 주행순서에 따라 노면상황이 크게 변한다. 서킷처럼 「높은 한계를 노리는」 세팅이라면 노면 상황에 대응할 수 없다.

이러한 노면에 대응하는 방법 중 하나는, 구동방식에 상관없이 「액셀 페달을 되돌렸을 때 노즈가 인을 향하고 액셀을 밟았을 때 뉴트럴 스티어가 되는 세팅」. 기본적으로 「아주 잘 꺾어지도록」 설정하고 그것을 액셀로 보정하는 운전방식을 상정한 세팅이다. 구체적으로는 2WAY LSD를 사용하거나 브레이크의 앞뒤 밸런스를 앞으로 치우치게 바꾸어 보자.

언더스티어나 오버스티어에 대해서는 포장노면과 같다고 생각하면 된다. 또 적절한 차고는 노면에 따라 크게 달라진다. 가능하면 낮추는 것이 정석이지만 깊은 바퀴자국이나 큰 돌이 있는 코스라면 차가 대미지를 받게 된다. 점프가 있는 코스를 달린다면 체공 시의 자세까지 고려한 전후 공력 밸런스를 추구해야 한다. 엔진 특성으로는, 톱엔드 파워보다는 가능한 한 리스폰스 향상을 도모하는 것이 좋다.

그래블에서 스피드를 얻기 위해서는 와인딩이나 서킷의 상식에 얽매이지 않는 발상이 요구된다.

서스펜션 세팅의 기준

		FRONT	REAR
차고		높게	높게
댐퍼 감쇠력	신장	강하게	강하게
	압축	강하게	강하게
스프링 레이트		딱딱하게	딱딱하게
휠 얼라인먼트	토각	인	0
	캠버각	네거티브	네거티브
스태빌라이저 레이트		부드럽게	딱딱하게

※차의 특성에 따라서는 이러한 세팅이 불가능한 경우도 있습니다.

NEXT P194➡

4
Course Reference
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex
TOYOTA
TOYOTA
TOYOTA
TOYOTA
TOYOTA
WILLOW SP

Ascari Full Track | 스페인

트랙 위에서도 좋은 경치는 여전하다. 연석은 일반적인 빨강과 하양이 아닌 자연색으로 조성했다.

코스 길이／5425m	고저차／38.56m	최대 스트레이트 길이／470m	코너 수／26

아스카리 풀 트랙

모든 타입의 코너를 가진 스페인에서 가장 긴 레이싱 트랙

F1 월드 챔피언 알베르토 아스카리의 이름을 붙인 서킷. 중세 분위기가 남아있는 스페인 남부의 도시 론다의 중심부에서 자동차로 10분 정도 거리에 있는 자동차 애호가를 위한 종합시설 아스카리 레이스 리조트의 메인 트랙이다. 스페인에서 가장 긴 트랙에는 모두 26개의 코너 중, 좌우 각각 13개씩인 테크니컬 하면서도 매우 균형잡힌 레이아웃이 특징이다. 스파 프랑코샹이나 실버스톤, 데이토나 등 세계적으로 유명한 코너를 본뜬 설계로도 유명하다.

info 자동차 그리고 자동차를 사랑하는 사람을 위한 리조트

"레이스 리조트"라는 시설 이름이 나타내는 대로 평범한 서킷과는 다른 컨셉을 가진 이 서킷. 리조트로서의 경관을 유지하기 위해 컨트롤타워 등 높이가 있는 건물은 하나도 없다. 현재 선수권과 같은 레이스는 개최되지 않고, 회원 이외에는 출입 자체가 일절 허용되지 않는다. 그런 익스클루시브함 덕분에 자동차 메이커 신차 테스트나 발표행사에 사용되는 일도 많다.

남유럽에 위치한 휴양지답게 부지내의 건물은 하얀 벽으로 통일되어 있다. 레스토랑 옆에는 서킷이 보이는 위치에 수영장도 있어 다른 서킷에서는 결코 맛 볼 수 없는 여유로운 시간을 보낼 수 있다

세비야 공항에서 자동차로 세비야 시내를 거쳐 국도 376호선, 375호선, 384호선, 367호선을 타고 내려가 론다 시에 도착한 후 약 10분. 1시간 반 정도. 지브롤터 공항에서 접근도 가능

대응 목록

1	스타팅 스트레이트	이름 그대로 컨트롤라인이 설치된 스트레이트. 스트레이트 엔드는 시케인으로 되어있다
2	콥스 코너 실버스톤	실버스톤의 명물 코너의 이름을 붙인 섹션. 진짜와는 구성이 다르지만 고속 코너의 성격은 같다
3	오 루즈 스파	업다운이 리드미컬한 연속 코너. 마치 스파의 오 루즈를 방불케하는 섹션
4	데이토나 뱅킹17° 데이토나	데이토나를 이미지한 뱅크가 특징. 로드코스로는 예외적으로 17도 뱅크의 고속 코너로 되어 있다

Brands Hatch | 영국

코스 길이／3916m	고저차／35m	최대 스트레이트 길이／475m	코너 수／9

※ 코스 최대 길이가 되는 GP 서킷일 때의 수치

브랜즈 해치

심한 기복의 유서깊은 고속 테크니컬 코스

런던에서 남동쪽, 녹음 우거진 켄트 주에 자리잡은 브랜즈 해치는 1950년부터 본격적인 자동차 경주를 개최하기 시작한 유서깊은 레이싱 트랙이다. 중 · 고속코너를 중심으로 한 하이스피드 코스라는 특징을 가지지만 코스폭이 좁고 또한 기복이 심하기 때문에 드라이버에게 있어서는 보기보단 터프한 코스다. 레이아웃은 두 개로, 깊은 숲속을 달리는 GP 서킷과 제 4 턴 "서티스"에서 최종 턴 "클라크 커브"로 숏컷하는 인디 서킷이 있다.

info 영국 레이서의 마음의 고향

각 섹션에 영국의 쟁쟁한 명레이서의 이름을 붙인데서도 알 수 있듯이 영국의 현대 모터스포츠 발전을 말할 때 빼놓을 수 없는 곳이 바로 브랜즈 해치다. 과거 수많은 선수권을 놓고 역사적인 명승부가 벌어졌던 이 서킷을 마음의 고향으로 여겨 지금도 여전히 사랑하는 영국의 레이서가 많다.

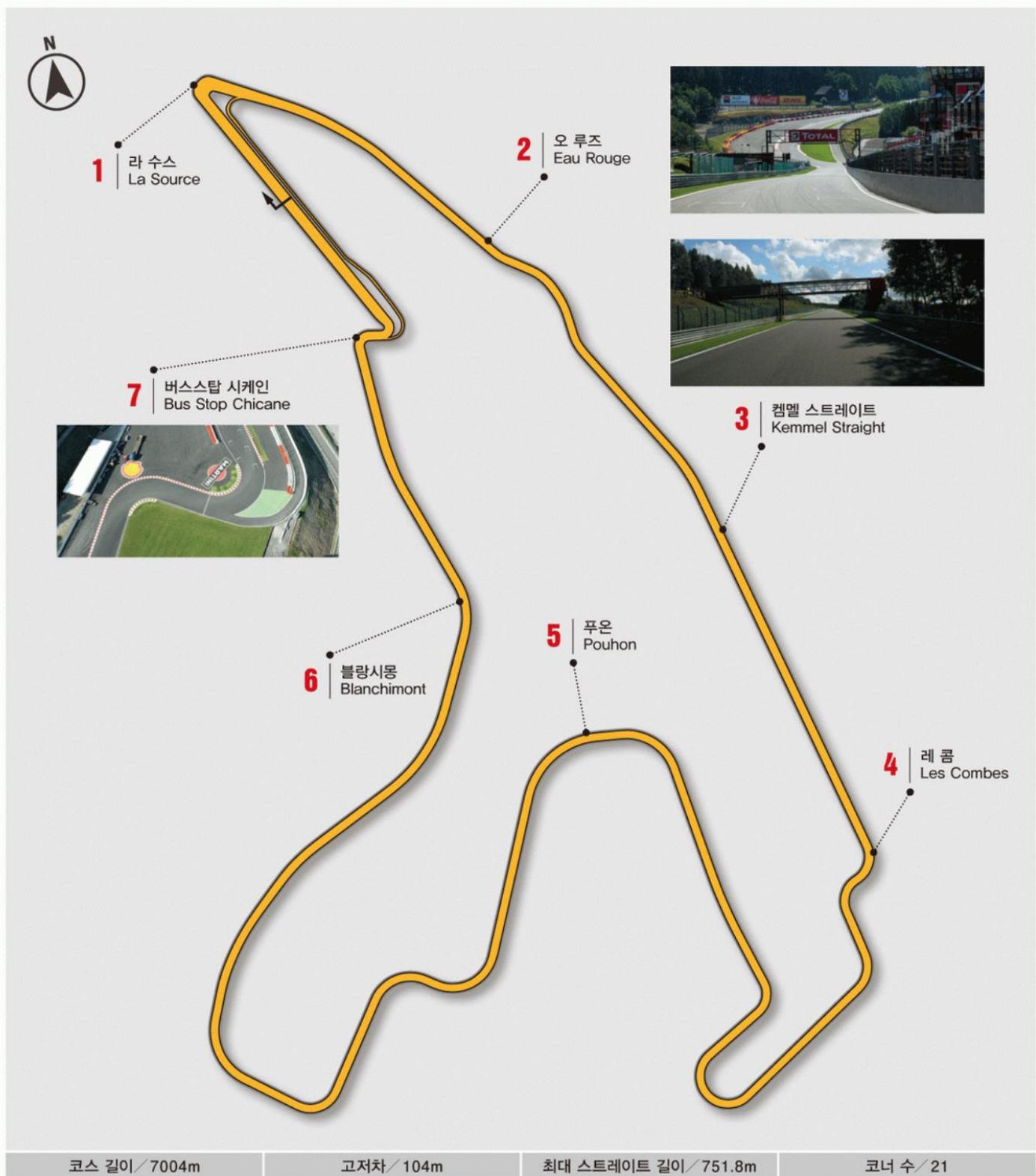
레이스가 열리는 주말, 이벤트 호스피탈리티로 떠들썩한 패독 힐 밴드의 바깥쪽은 평소에는 현지 젊은 자동차 매니아들이 모여 운전 연습에 여념이 없다. 자동차를 사랑하는 젊은이들의 행동양식은 만국 공통이다

런던 빅토리아역에서 스완리역까지 약 1시간. 스완리 시가지에서는 약 8km를 달려 서킷에 도착할 수 있으므로 버스, 택시, 어떤 방법으로든 가볍게 접근이 가능하다

대응 목록

1	패독 힐 벤드	오르막인 브라밤 스트레이트부터 단숨에 언덕을 내려가는 제1 코너. 실력과 배짱이 요구되는 섹션이다
2	드루이드 벤드	제1 코너에서 내려온 후 다시 오르막에서 만나는 헤어핀 코너. 완전히 블라인드 코너라 충돌도 많다
3	호손 힐	깊은 숲속 곧게 뻗은 급경사의 다운힐 스트레이트. 본 코스에서 유일한 추월 포인트
4	딩글 델	초고속 코너. 블라인드라서 클리핑 포인트의 확인이 어렵고 공략에 어려움을 겪는다
5	스털링 벤드	왕년의 명 드라이버 스털링 모스의 이름을 따 명명된 코너. 여기를 벗어나면 숲의 출구가 보인다
6	클라크 커브	오른쪽으로 크게 휘어진 최종 코너. 입구와 출구의 높낮이 차이가 심해 기어 단수 선택이 공략의 성패를 가른다
7	브라밤 스트레이트	본 코스의 홈 스트레이트. 피트를 향해 크게 뱅크가 있다는 점은 다른 코스에서는 볼 수 없는 특징이다.

Circuit de Spa-Francorchamps | 벨기에

코스 길이／7004m	고저차／104m	최대 스트레이트 길이／751.8m	코너 수／21

스파 프랑코샹

다이내믹한 업다운을 가진 세계 굴지의 고속 테크니컬 코스

독일과의 국경에 인접한 벨기에 아르덴 지방에 만들어진 스파 프랑코샹은 중 · 고속 코너와 긴 풀가속 구간으로 이루어된 세계 굴지의 고속 테크니컬 코스이다. 언덕 지대에 자리잡아 고저차가 무려 104m에 이르는 강렬한 업다운이 특징으로, 마치 벽처럼 가파른 언덕을 오르는 "오 루즈"는 스파를 대표하는 코너 중 하나다. 또 그 높은 표고 때문에 "스파 웨더"로 불릴 만큼 날씨 변화가 심한 것으로도 유명하다. 스파에서 이기기 위해서는 실력뿐 아니라 운도 자기편으로 만들 필요가 있다.

info 서킷을 방문할 때에는 주변의 풍부한 자연경관도 즐겨보자

스파 프랑코샹의 주변은 산악지형이 자아내는 풍부한 자연이 매력. 서킷 이름에서도 알 수 있듯이 시내에는 온천이 많이 있으며 예로부터 유럽 유수의 휴양지로서 번창해 왔다. 서킷에서 15분 정도 차를 달리면 아르덴 숲과는 전혀 다른 경관을 가진 오트파뉴의 대초원이 펼쳐져 벨기에 자연의 다양한 매력을 즐길 수 있다.

고대의 빙하에 의해 형성된 대습지 오트파뉴. 주변은 자연공원으로 지정되어 있으며, 벨기에에서 가장 높은 지점이 바로 이 자연공원 안에 있다. 날씨가 좋으면 독일, 네덜란드까지 볼 수 있는 조망이 인기

브뤼셀 중앙역에서 철도로 약 2시간 반. 벨비에 역에서 하차한 후 버스를 이용하면 편리하다. 벨기에의 풍광을 즐기며 자동차로 접근하는 것도 즐겁다. 독일 접경지이기 때문에 프랑크푸르트에서 접근도 가능

대응 목록

1	라 수스	첫번째 난관인 예각 헤어핀 커브. 스타트 직후 급브레이크를 강요당하기 때문에 여기에서 단번에 차이가 벌어지기도
2	오 루즈	고속 S 코너라서 횡G가 걸리면서 경사에 의해 세로방향으로도 G가 더해지는 스파 프랑코상 명물 S자 코너
3	켐멜 스트레이트	본 코스 최대 직선로. 오 루즈를 어떻게 통과하느냐에 따라 톱스피드는 크게 달라진다
4	레 콤	고저차 극심한 본 코스의 최고지점. 여기를 통과하면 코스는 단번에 중고속의 다운힐로 변한다
5	푸온	내리막 고속 코너. 복합 코너이기 때문에 클리핑 포인트 확인이 중요하다
6	블랑시몽	폴 프레르 코너에서 이어지는 초고속 섹션. 오 루즈와 함께 드라이버의 담력이 요구된다
7	버스스탑 시케인	라 수스 이상의 급감속이 요구되는 시케인. 브레이킹 승패에 따른 추월 포인트로도 유명하다

Goodwood Hillclimb | 영국

N

게이트를 지나면 에스케이프 존이 전혀 없다. 실력과 배짱을 시험하는 섹션이다.

2 몰콤 코너
Molecomb Corner

3 플린트 월
The Flint Wall

1 파크 스트레이트
Park Straight

코스 길이／1867m	고저차／92.7m	최대 스트레이트 길이／360m	코너 수／9

150
75
0

굿우드 힐클라임

세계에서 가장 우아하고 화려한 타임 트라이얼 무대

매년 7월 영국에서 개최되는 모터레이싱 축제 "굿우드 페스티벌 오브 스피드". 이 기간 중에 행사가 열리는 마치 백작 저택의 부지에 설치되는 것이 이 힐클라임 코스다. 옛날 모습 그대로 짚단으로 벽을 쌓아 만든 소박한 코스는 길이 1.16마일(약 1.9km). 심플한 레이아웃이면서 코스폭이 매우 좁아 난이도가 높다. 덧붙여 1999년에 N. 하이드펠트가 McLaren MP4-13으로 기록한 41.6초가 현재의 코스 최고기록이다.

info 남녀노소, 모든 사람이 즐기는 모터스포츠의 제전

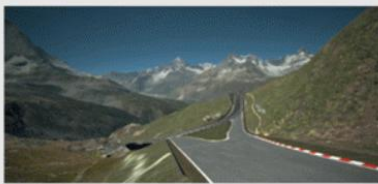
한정된 사람들의 축제라고 오해하는 사람도 있지만 티켓을 구입하면 누구나 즐길 수 있는 것이 굿우드 페스티벌 오브 스피드의 최대 매력. 레져 시트나 야외용 의자를 한 손에 들고 느긋하게 피크닉 기분으로 놀러오는 가족도 많다. 회장에 모이는 유명 레이서들과의 거리도 놀랄만큼 가까워 동경하던 드라이버와 교류하는 것도 결코 꿈이 아니다.

각 메이커의 최신 모델이나 왕년의 명차가 모여들기로 유명하지만 이런 괴짜도 전시된다. 아무리 봐도 침대로밖에는 보이지 않지만 번호판을 취득한 분명한 "자동차". 물론 도로 주행이 가능하다. 게이트를 지나면 이스케이프 존이 전혀 없다. 실력과 배짱이 시험받는 섹션이다

런던 빅토리아역에서 치체스터역까지 한번 갈아타고 약 90분. 이벤트 개최 중에는 역에서 회장까지 셔틀버스가 운행되어 헤맬 일은 없다. 셔틀버스 종점에서 걸어서 몇 분이면 도착했다

대응 목록

1	파크 스트레이트	나무 그늘 우거진 출발점에서 단번에 시야가 트이는 스트레이트.코스 옆으로는 화려하게 채색된 굿우드 하우스가 보인다
2	몰콤 코너	스트레이트를 지나 만나는 왼쪽 커브. 완만하면서 노폭이 좁고 안전지대도 없는 것과 마찬가지라 드라이버의 담력이 시험된다
3	플린트 월	좌우로 연속된 시케인같은 섹션. 왼쪽은 벽돌담에 가려진 완전한 블라인드 코너다

Matterhorn | 스위스

코스 길이／3577.8m	고저차／236m	최대 스트레이트 길이／415m	코너 수／15

※ 코스 최대 길이가 되는 로텐보덴일 때의 수치

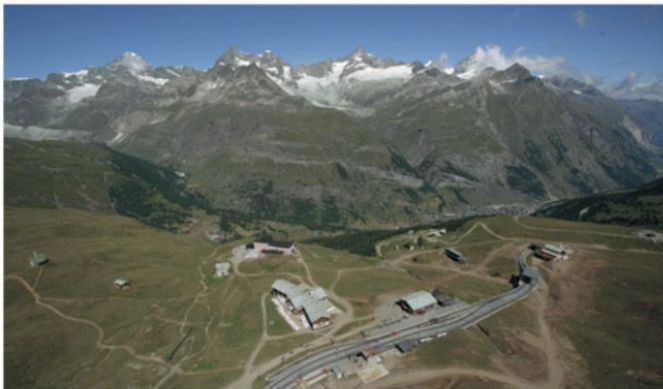
160
0
-160

마터호른

4000m급 산들을 조망하는 산악 코스

표고 3000m 이상. 알프스의 준봉 마터호른을 바라보는 전망대로 유명한 고르너그라트역 주변에 조성된 오리지널 코스. 긴 풀가속 구간과 완만한 고속 코너로 구성된 하이스피드 섹션과 중 · 저속 코너로 구성된 테크니컬 섹션이 공존한다. 코스 폭이 넓게 설정되어 있지만 그곳은 산악 코스. 거친 바위가 다가오는 블라인드 코너와 다이내믹한 급경사가 연달아 나타나는, 퍼머넌트 서킷과는 조금 다른 강도 높은 트랙이다.

info 수목한계 너머 펼쳐지는 압도적인 경관

코스가 위치하는 리펠베르크에서 로텐바텐 주변은 해발 2,500m 이상이다. 자연을 즐기는 사람들로 붐비는 알프스 관광의 중심지. 알프스라고 하면 우선 스키가 떠오르지만, 에델바이스를 비롯한 고산식물과 야생동물, 높은 표고에서 나타나는 관경을 즐기기에는 봄에서 여름까지의 하이킹 시즌을 놓치기 아깝다.

고르너그라트 철도의 기점인 체르마트에서 종점인 고르너그라트까지 1,400m에 달하는 고저차를 약 30분으로 잇는다. 리페르베르크 앞에서 수목한계선을 돌파하면 높은 표고로 만들어지는 독특한 경관이 펼쳐진다

고르너그라트 철도 기점인 체르마트까지는 제네바 공항과 취리히 공항 어느 쪽에서든지 4 시간 정도 걸린다. 체르마트에서 리펠베르크까지는 약 20분. 체르마트는 내연기관 차량출입이 금지되므로 주의할 것

대응 목록

1	로텐보텐 제 7 코너	로텐보텐 역 주변을 꺾어서 내려간다. 타이터한 코너가 많은 가운데 꾸준하게 돌아가는 고속 코너
2	리펠제 제 2 코너	내리막 섹션의 마무리는 리펠베르크 쪽으로 향하는 제트 코스터와도 같은 업다운
3	드리스텔른 제 1 코너	마터호른을 바라보는 고속 코너. 뱅크를 이용하는 것이 공략의 열쇠. 경관에 시선을 뺏기지 않도록 주의할 것

Mount Panorama Motor Racing Circuit | 호주

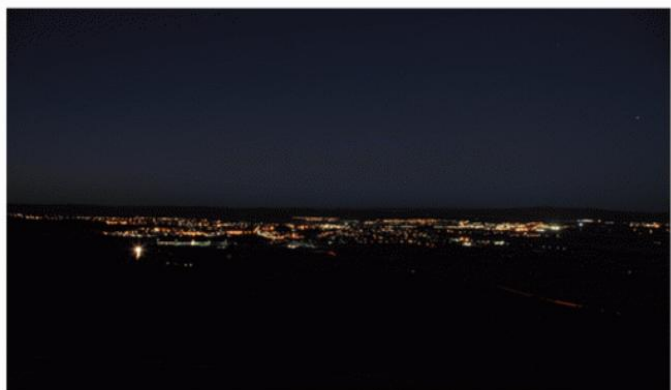
코스 길이／6213m	고저차／174m	최대 스트레이트 길이／1916m	코너 수／23

마운트 파노라마 모터레이싱 서킷

공도를 이용하는 호주를 대표하는 레이싱 트랙

호주 뉴 사우스 웨일스주 배서스트에 자리잡은 마운트 파노라마 모터레이싱 서킷은 "배서스트 1000" 등의 빅 이벤트로 인기있는 트랙. 평상시에는 일반 도로로 사용되는 것이 큰 특징으로, 코스는 큰 언덕을 넘나들며 배치되어 있다. 전반과 막판에 긴 풀가속 구간이 있지만 그 이외는 격렬한 업다운과 블라인드 코너의 연속. 이곳 외에서는 볼 수 없는 매우 까다로운 코스 특성이 본 코스 최대의 매력이라 할 수 있다.

info 배서스트 유일의 풍광이 즐겁다

이름 그대로 산악 지형에 배치된 코스이기에 가능한 조망이 매력적인 코스. 통상적으로는 공도로 개방되며, 현지 산책 코스로 아이부터 노인까지 많은 사람들이 왕래한다. 자동차로 방문할 때 조심해야 할 것은 제한속도. 평소에는 60km/h 제한된다. 경찰의 감시도 매우 엄격해 평상시에는 경주속도로 달리는 것이 절대 허용되지 않는다.

브룩스 스카이라인 주변은 배서스트시 최고의 전망을 즐길 수 있는 지역 인기 스폿. 밤낮으로 찾는 시민이 많지만 그 중에서도 최고 인기는 역시 야경. 밤이 되면 많은 사람들이 자동차로 모여 야경을 즐긴다

시드니에서 서쪽으로 약 200km. 배리어 하이웨이(국도 32호선)를 약 3시간 정도 달리면 배서스트에 도착한다. 비행기를 이용하는 경우 시드니에서 리저널 익스프레스의 정기편으로 50분이면 도착할 수 있다

대응 목록

1	헬 코너	스트레이트 직후의 왼코너. 직각으로 꺽인 코너 구성은 평상시 공도로 이용되는 코스의 특징
2	마운틴 스트레이트	본 코스 전반의 풀가속 구간이 되는 긴 스트레이트. 그 이름 대로 언덕을 향해 계속 오르는 등판로이다
3	브룩 스카이라인	왕년의 명드라이버 피터 브룩스의 이름을 붙인 섹션. 오른쪽으로 펼쳐지는 풍경은 그야말로 압권이라고 할 만하다
4	디퍼	본 코스 최고난이도 섹션. 뉘르부르크링을 방불케하는 노폭이 좁은 블라인드 코너의 연속이다
5	포레스트 엘보우	본 코너 언더지대의 종점. 2륜 레이서 쟈크 포레스트의 사고에서 이름을 딴 코너
6	컨로드 스트레이트	언덕지대를 지나 내리막에서 상하로 요동치는 롱 스트레이트. 최고속도는 무려 300km/h에 달한다
7	체이스	1987년 세계 투어링카 선수권 때 설치된 시케인. 여기에서 크게 감속한 후 최종 코너에 진입한다

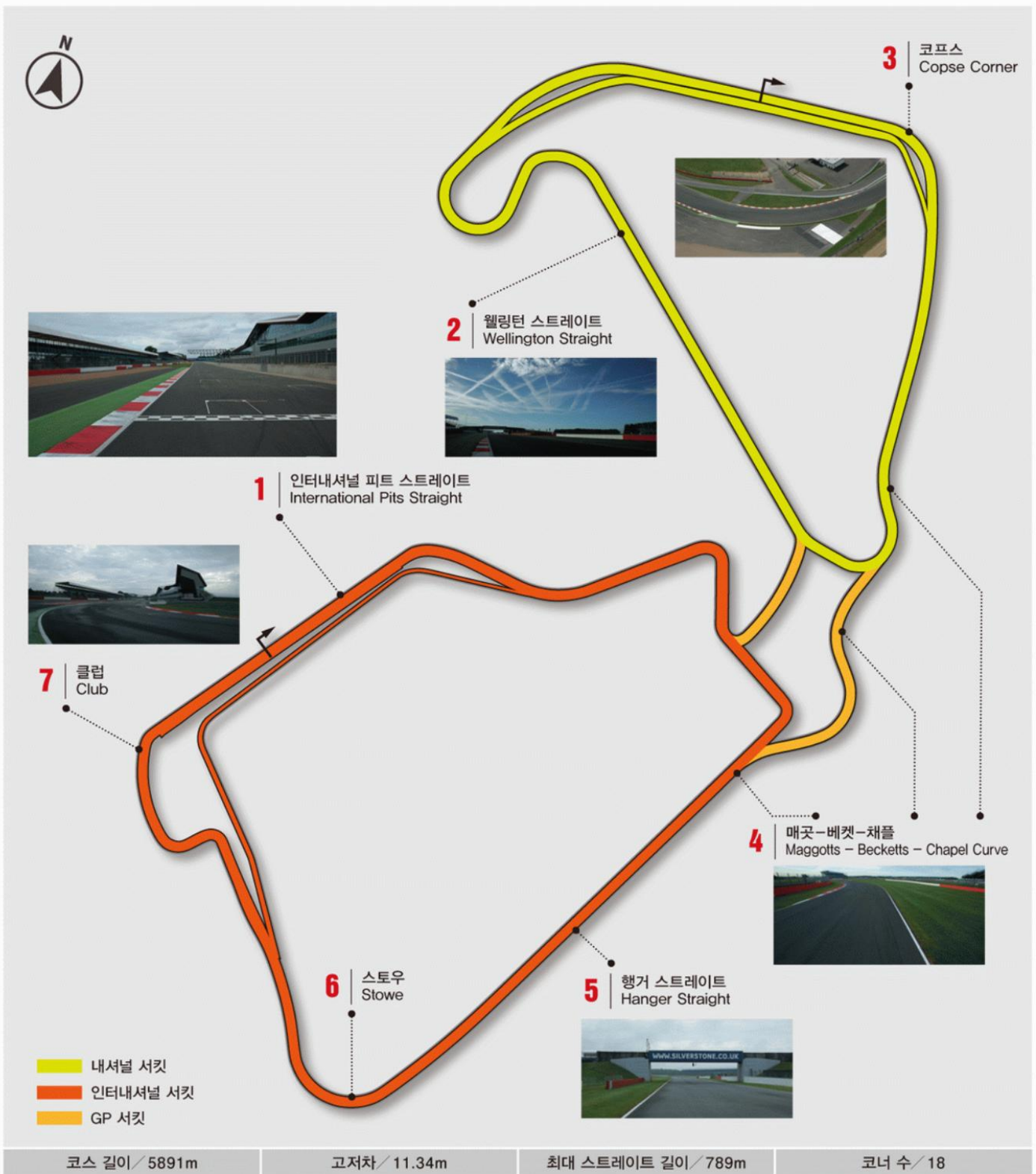
Silverstone Circuit | 영국

코스 길이／5891m	고저차／11.34m	최대 스트레이트 길이／789m	코너 수／18

※코스 최대 길이가 되는 GP 서킷일 때의 수치

15

0

-15

실버스톤 서킷

65년의 역사를 자랑하는 전통의 레이싱 트랙

실버스톤 서킷은 영국 공군비행장 철거지를 이용해 1948년에 개업, 1950년에는 최초의 F1 세계선수권 영국 GP를 개최하는 등 모터레이싱의 발상지로도 이야기되는 유서깊은 레이싱 코스다. 최근 대규모 개수에 의해 보다 테크니컬하게 변신했지만 개업 당시의 "하이스피드 코스"라는 성격에는 변함이 없다. 본 작품에서는 북쪽 부분을 사용한 내셔널 서킷, 남쪽 부분을 사용한 인터내셔널 서킷, 양쪽을 모두 쓰는 그랑프리 서킷 등 3가지 레이아웃을 주행할 수 있다.

info 가상과 리얼을 잇는 기점으로서의 실버스톤

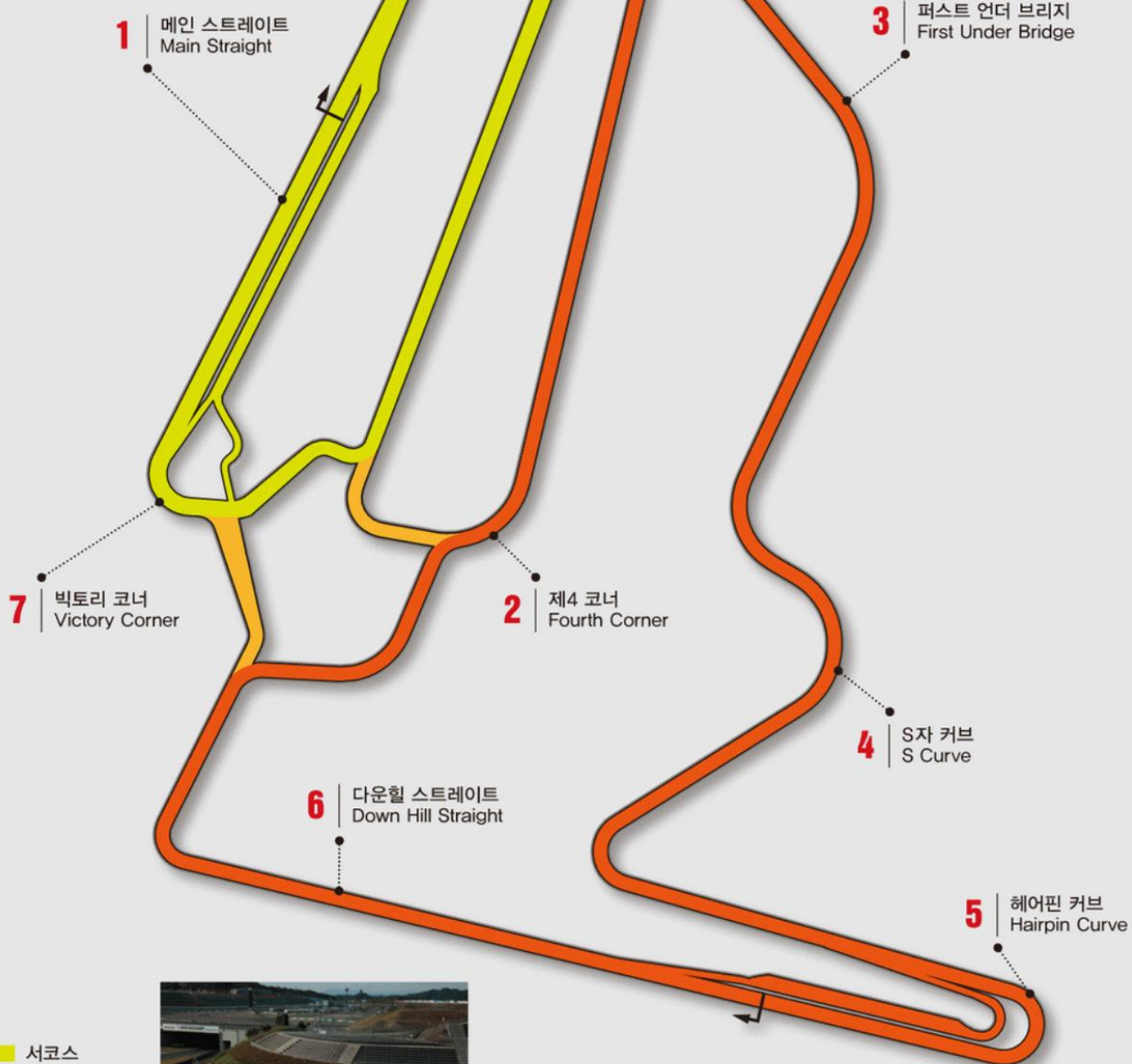
그란 투리스모의 톱 플레이어에게 진짜 프로페셔널 레이스 드라이버가 될 기회를 주는 프로그램 "GT 아카데미"는 첫회 개최 이래 지금까지 실버스톤을 무대로 최종전형이 이루어져 왔다. 2008년의 첫회 개최에서 6년, 실버스톤은 레이서뿐 아니라 모든 그란 투리스모 플레이어들의 성지가 되어가고 있다.

실버스톤에서의 GT 아카데미 최종심사회 풍경. 드라이빙 테크닉은 물론, 체력, 리더십, 소통능력 등 레이서에 필요한 모든 자질이 종합적으로 평가된다

런던의 유스톤역에서 노샘프턴역까지 1시간. 여기서 택시를 이용해 30분 정도 걸린다. 그러나 레이스가 열리는 주말의 실버스톤 주변은 체증이 극심하다. 시간에 여유를 가지고 접근하는 것이 바람직하다

대응 목록

1	인터내셔널 피트 스트레이트	개수 이후에는 여기가 홈 스트레이트가 되었다. 최신 호스피탈티를 갖춘 패독 "실버스톤 윙"이 보인다
2	웰링턴 스트레이트	개수를 거쳐 새롭게 태어난 스트레이트. 끝부분은 급커브여서 적당한 추월 포인트이기도 하다
3	코프스	컨트롤 라인의 변경에 따라 진입속도가 더욱 높아진 초고속 코너. 톱스피드로 통과해야 한다
4	매곳-베켓-채플	실버스톤 공략의 성패를 가른다 해도 과언이 아닌 연속 S자 코너. 그 난이도는 세계적으로도 손꼽힌다
5	행거 스트레이트	약 800m에 달하는 실버스톤 최장 직선로. 코스 폭도 넓어 적극적으로 추월을 시도하고 싶다
6	스토우	콥스와 마찬가지로 긴 직선로에서 진입하는 코너지만 여기는 브레이킹이 필요하다. 출구가 멀어 공략 난이도는 높다
7	클럽	완만한 역 뱅크로 되어있는 블라인드 코너. 개수를 거치며 여기가 마지막 커브가 되었다

Twin Ring Motegi | 일본

코스 길이／4801m	고저차／30.4m	최대 스트레이트 길이／762m	코너 수／14

※코스 최대 길이가 되는 로드코스일 때의 수치

트윈 링 모테기 – 로드 코스

혼다의 두 번째 국제 레이싱 코스

1997년 혼다가 완성시킨 국제 규격의 레이싱 코스가 트윈 링 모테기이다. 유러피언 스타일의 로드코스는 가감속을 반복하는 스톱 앤드 고 레이아웃으로, 마찬가지로 혼다가 만든 스즈카와는 전혀 다른 성격의 트랙이다. 숏컷을 이용해 동쪽 코스와 서쪽 코스, 최대 길이인 로드코스 등 모두 3가지 레이아웃을 가진다. 최대의 볼거리는 급경사를 내달리는 다운힐 스트레이트의 90도 코너. 여기서의 브레이킹 경쟁이 치열하다.

info 지진 재해 부흥의 메시지를 모터스포츠 입장에서 발신

지금도 기억에 생생한 동일본 대지진. 일본 국내의 국제규격 서킷 중에서 진원지에 가장 가까웠던 모테기는 이 지진으로 인해 코스 침하나 융기 등 막대한 피해를 입었다. 하지만 그 해 6월에 재빨리 복구를 완료. "힘내세요! 일본"이라는 표어로 영업을 재개했다. 이후에도 지속적인 부흥 지원 이벤트를 개최하는 등 일본 모터스포츠계의 지진 재해 부흥의 상징이 되었다.

로드코스 컨트롤 라인에 붙인 "힘내세요! 일본"이라는 글자. 진원지에 가까운 서킷에 붙여진 이 문구에 모든 일본의 모터스포츠 팬들이 용기를 얻었다

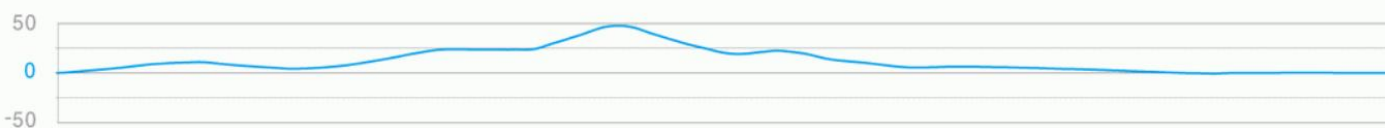
도쿄에서 갈 경우 역시 가장 편리한 것은 신칸센으로 우쓰노미야까지 50분. 여기에서 버스로 90분 정도 걸린다. 택시를 이용하면 더 빠르지만 레이스 기간에 정체는 불가피하므로 여유로운 스케줄로 진행해야 한다

대응 목록

1	메인 스트레이트	서킷의 얼굴이 되는 홈 스트레이트. 제1 코너는 두개의 코너가 연속된 사실상 복합 코너이다
2	제4 코너	여기도 제3 코너와 제4 코너에서 하나의 복합 코너를 형성한다. 그러나 이쪽이 반경이 급하다
3	퍼스트 언더 브리지	상당한 예각으로 꺽인 제5 코너 직후의 입체교차로. 머리 위로는 슈퍼 스피드웨이의 오벌이 지나간다
4	S자 커브	좌우 진폭이 상당히 큰 S자 코너. 속도를 타기보다는 짧은 거리의 라인을 의식해 공략하고 싶다
5	헤어핀 커브	오르막 브레이킹은 비교적 쉽지만 주의깊게 클리어한 후 스트레이트에서 속도를 벌고 싶다
6	다운힐 스트레이트	본 코스 최장 스트레이트. 도중에 내리막이 되며 끝부분의 오른쪽 코너는 적절한 추월 포인트
7	빅토리 코너	연속되는 2개의 좌코너를 지나 오른쪽으로 급하게 꺽이는, 시케인 같은 구조로 되어 있는 최종 코너

Willow Springs International Raceway Big Willow | 미국

홈 스트레이트 왼편에 자리잡은 패독 에어리어에는 다이너와 프라이빗 팀의 개러지가 있다

코스 길이／3951m	고저차／50m	최대 스트레이트 길이／756m	코너 수／10

윌로 스프링스 레이스웨이 빅 윌로

지형을 이용한 기복과 고속 코너가 특징인 하이스피드 코스

로스앤젤레스 외곽의 광대한 구릉지대에 자리한 윌로 스프링스 레이스웨이는 1953년 개업시의 모습이 지금에도 남아있는 고풍스런 레이싱 트랙이다. 여러 코스 중에서도 메인이 되는 빅 윌로우는 중·고속 코너를 중심으로 구성된 한 바퀴 2.5마일(약 4km)의 하이스피드 코스. 어찌 보면 쉬워 보이지만 선회 시간이 긴 롱 코너가 많기 때문에 속도조정이 어렵고, 지형 변화에 의한 노면의 기복으로 인해 자세를 흐트러뜨리기 쉽다는 가혹한 일면을 가지고 있다.

info 북미 지역 풀뿌리 모터스포츠의 성지

오너 일가에 의한 가족경영이기 때문에, 여유롭고 목가적인 분위기로 가득 차 있는 윌로우 스프링스. 스탭의 수는 적지만 모두 상냥하고 화기애애하며 무엇이든 상담에 응해 주는 기분 좋은 사람들이다. 부지 내에는 몇몇 개인용 개러지도 있는데, 근처를 걷다보면 가볍게 이야기를 건네기도 한다. 정비중인 자동차 이야기로 시끌벅적하며 즐겁다.

쓰러질 만큼 강렬한 햇빛을 뒤로하고 냉방이 잘 되는 패독 식당에서 먹는 볼륨감 넘치는 식사가 이 코스의 숨은 매력. 미국답게 가격은 싸고 볼륨은 만점. 그리고 맛도 상당하다. 홈 스트레이트 왼편의 패독 에어리어에는 식당과 프라이버티어의 개러지가 있다

아무래도 자동차를 이용하는 것이 편리하다. 로스앤젤레스 공항에서 405번 도로를 타고 북상해 그대로 5번 도로, 14번 도로 갈아타 로자몬드까지 약 90분. 그곳에서 약 5km 정도면 서킷에 도착한다

대응 목록

1	카스트롤 코너	홈 스트레이트에서 이어지는 왼쪽 코너. 이곳을 넘으면 본 코스 초반의 테크니컬 섹션에 들어간다
2	래빗 이어	그 이름처럼 마치 토끼귀를 닮은 섹션. 장대한 커브이기 때문에 클리핑 포인트 확인이 중요
3	오메가	테크니컬 섹션 거의 중앙. 본 코너의 최고지점. 오르막에서 내리막으로 바뀌며 단번에 넓어지는 장대한 풍광이 상쾌하다
4	먼로 릿지	언덕이라 시야가 나쁘지만 여기서의 라인타기에 따라 이어지는 고속 섹션의 스피드에 큰 영향을 미치는 중요한 코너
5	스위퍼	본 서킷 공략의 키가 되는 고속 코너. 여기에서의 탈출 스피드가 현지 레이서의 자랑거리가 될 정도
6	제9 코너	최종 코너. 보기에는 어렵지 않아 보이지만 출구를 향해 곡률이 증가하기 때문에 라인 잡기가 어렵다

Willow Springs International Raceway Street Of Willow | 미국

코스 길이／2675m	고저차／20m	최대 스트레이트 길이／395m	코너 수／14

윌로 스프링스 레이스웨이 스트리트 오브 윌로

다양한 종류의 코너가 준비되어 있는 테크니컬 코스

빅 윌로에서 북쪽으로 뻗은 한 바퀴 1.6마일(약 2.6km)의 숏 코스. 레이스용이라기보다는 테스트 트랙으로서의 성격이 강하며 주로 주행회 등에 이용되고 있다. 코스의 성격은 매우 테크니컬하며 두 군데 짤막한 전개 구간 이외에는 항상 중 · 저속 코너의 연속이다. 길이는 짧지만 그 내용은 알차며, 심플한 단일 코너에서 복합 코너 더욱이 직각 코너와 다양한 유형의 코너가 준비되어 있기 때문에 드라이빙 스킬 향상에는 최적의 코스다.

info 영화의 무대가 되었던 모하비 사막의 모래폭풍

사막의 바람이나 태양은 계절을 불문하고 가혹하기 때문에 서킷에도 바람을 피할 수 있는 바람막이가 레코드 라인에 설치되어 있을 정도. 모래바람이 일어나 답답한 황색 안개가 시야를 가리는 모습은 상당히 무섭다. 그런 황량한 풍경의 서킷이지만 극히 드물게 우기에 충분한 비가 내린 여름에는 서킷 일부가 아름다운 녹색으로 덮이기도 한다.

윌로 스프링스 레이스웨이가 위치한 모하비 사막은 영화 "바그다드 카페"의 무대. 서킷까지 가는 도중에 국도를 자동차로 달리는 것 만으로도 영화의 기분에 잠겨 볼 수 있다

기본적인 접근법은 앞페이지의 빅 윌로와 같지만 다양한 경로로 갈 수 있다. 국도 5번 도로를 그대로 북상해 산악지대를 벗어나 138번 도로에 합류하는 코스를 달리면 웅대한 미국의 자연을 즐기는 것도 가능하다

대응 목록

1	제2 코스	코스 초반은 코너마다 10m 이상의 고저차가 있어 업다운이 심하다. 이곳은 내리막에서 왼쪽 커브
2	제4 코스	초반 마지막은 오르막에서 예각인 헤어핀 코너. 거친 노면 때문에 머신 컨트롤을 잃기 쉽다
3	보울	20도의 경사각을 가진 역동적인 명물 코너는 "보울"이라는 별명을 갖는다.
4	제11 코스	왼쪽으로 빠져 갑자기 코너. 스트레이트~완만한 S자 코너의 종점에서만큼은 브레이크 컨트롤이 요구된다
5	제14 코스	광대한 스키드패드로 되어있는 개성적인 코너. 레이스가 열릴 때에는 파일런 등을 세워 트랙이 만들어진다

ba
The Gran Turismo Magazine
Beyond the Apex